



## **In situ stimuleret reduktiv dechlorering af TCE i moræneler indsigt fra 4 års fuldskala SRD på 2 lokaliteter**

**Broholm, Mette Martina; Damgaard, Ida; Chambon, Julie Claire Claudia; Pade, Dorte Moon; Manoli, Gabriele; Christiansen, Camilla Maymann; Binning, Philip John; Tsitonaki, Aikaterini; Westergaard, Claus; Kern-Jespersen, Henriette**

*Total number of authors:*  
13

*Published in:*  
Vintermøde om Jord- og Grundvandsforurening

*Publication date:*  
2012

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

### *Citation (APA):*

Broholm, M. M., Damgaard, I., Chambon, J. C. C., Pade, D. M., Manoli, G., Christiansen, C. M., Binning, P. J., Tsitonaki, A., Westergaard, C., Kern-Jespersen, H., Christophersen, M., Petersen, J., & Bjerg, P. L. (2012). In situ stimuleret reduktiv dechlorering af TCE i moræneler indsigt fra 4 års fuldskala SRD på 2 lokaliteter. In *Vintermøde om Jord- og Grundvandsforurening* (pp. 51). ATV Jord og Grundvand.

---

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# VINTERMØDE OM JORD- OG GRUNDVANDSFORURENING

Vingstedcentret  
6. - 7. marts 2012



### Velkommen til Vintermøde 2012

Tak for de mange forslag til indlæg på Vintermødet 2012! Vi er glade for at kunne præsentere et spændende og indholdsrigt program, som både giver mulighed for at fordybe sig i præcis det faglige spor eller den fagsession, der interesserer en allermost, og at "mixe" sin egen blanding af indlæg.

Programmet byder – udover 4 fagspor – også på 2 fælles sessioner: Tirsdag formiddag vil direktør Jørn Jespersen, Dansk Miljøteknologi, og professor Christoffer Green Pedersen, Institut for Statskundskab, AU, indlede vintermødet med oplæg og debat om "Miljø, medier, dagsordenssættelse, politik, retninger/strømninger og påvirkninger", og onsdag formiddag kan du opleve professor Poul Løgstrup Bjerg, DTU Miljø, og professor Michael Hauschild, DTU Management, tale om "Helhedsorienteret opgaveløsning".

Bestyrelsen for ATV Jord og Grundvand arbejder til stadighed for at kunne tilbyde møder om højaktuelle emner og med mødeformer, som understøtter den bedste formidlingsform for det konkrete emne. Vi vil gerne opfordre alle til at slå et slag forbi ATV Jord og Grundvands stand i foyeren og bidrage med ideer til mødetemaer, mødeformer mv. Det inspirerer os til at udvikle vores mødetilbud i takt med behovet hos de danske aktører på miljøområdet.

Arrangementsgruppen for vintermødet har også denne gang modtaget mange flere forslag til indlæg, end der er plads til i programmet. Vi er rigtig glade for den store interesse, der er med til at sikre et indholdsrigt, aktuelt og spændende vintermøde. Så der skal lyde en stærk opfordring til også at indsende forslag til næste års møde, selvom man måske ikke fik sit indlæg optaget i år. De indlæg, som ikke udvælges til præsentation på Vingssted, bliver inddraget i planlægningen af de øvrige møder, som ATV Jord og Grundvand afholder i løbet af året.

Alle interesserede kan løbende finde informationer om vores mødeaktiviteter på hjemmesiden [www.atv-jord-grundvand.dk](http://www.atv-jord-grundvand.dk). Her kan man også tilmelde sig vores elektroniske nyhedsbrev.

Faglig tilrettelæggelse af Vintermødet 2012:

Professor Philip J. Binning, DTU Miljø

Afdelingsleder, civilingeniør, ph.d. Mette Christophersen, Rambøll

Civilingeniør Per Grønvald, Aalborg Forsyning, Vand AS

Civilingeniør, ph.d. Nina Tuxen, Orbicon A/S (næstformand)

Gruppeleder, cand.techn.soc. Birgit Sønderkov Weber, Nyborg Kommune

Direktør Tom Heron, NIRAS A/S (formand)

Sekretariatsleder Lisbeth Verner, ATV Jord og Grundvand



## Indholdsfortegnelse

Side

### Spor 1

#### Bæredygtig vandindvinding (modul 1)

BÆREDYGTIG VANDINDVINDING – HVAD ER DET? Projektchef Troels Kærgaard Bjerre, VandCenter Syd A/S	1
VANDINDVINDING OG VANDLØBSPÅVIRKNING Projektleder Jens Rasmussen, Københavns Energi A/S	2
VANDINDVINDING OG GRUNDVANDSAFHÆNGIG NATUR Msc, PhD Ole Munch Johansen, NIRAS A/S	3

#### Hvor skal det rene vand komme fra? (modul 2)

FJERNELSE AF GRUNDVANDSFORURENING MED MIKRO- ORGANISMER – FREMTIDENS LØSNING PÅ FORTIDENS SYNDER? Forsker, ph.d. Christian Nyrop Albers, GEUS	5
ERFARINGER MED GRUNDVANDSBESKYTTELSE Gennem OFFENTLIG OG PRIVAT SKOVREJSNING VED ODENSE Sektionsleder, landinspektør Morten Hartvigsen, Orbicon A/S	6
SKOV ER WIN-WIN FOR GRUNDVAND OG CO <sub>2</sub> - MÅSKE?? Hydrogeolog, ph.d. Ulla L. Ladekarl, ALECTIA A/S	7

#### Fremtidens vandindvinding (modul 3)

INTEGRATED ASSESSMENT OF THE IMPACT OF GROUNDWATER CONTAMINATION TO SURFACE WATER ECOSYSTEMS Professor Philip J. Binning, DTU Miljø	9
SYNERGI MELLEM NATUR- OG AFLØBSSYSTEMER GIVER BEDRE VANDMILJØ OG BILLIGERE KLIMATILPASNING Seniorkonsulent, biolog Holger Petersen, NIRAS A/S	10
VAND TIL MARKVANDING Specialkonsulent Søren Kolind Hvid, Videncentret for Landbrug	11

#### Klimatilpasset planlægning (modul 6)

MÅLINGER I GREVES KLIMATILPASNING MED FOKUS PÅ INTERAKTION MELLEM DEN ØVRE GRUNDVANDSZONE OG OVERFLADEAFSTRØMNINGERNE Civilingeniør Birgit Krogh Paludan, Greve Solrød Forsyning	13
KARLSTRUP MOSE – KLIMATILPASNING, VAND- OG NATURPROJEKT Chefkonsulent, markedschef Henrik Lynghus, NIRAS A/S	14
ET SCREENINGSVÆRKTØJ TIL VURDERING AF POTENTIALET FOR LAR Cand. scient., ph.d. Peter Møller Duch, ALECTIA A/S	15

<b>Spor 2</b>	Side
<b>Fagsession 1: Groundwater for Growth, Development and Climate Change Adaptation – IAH (modul 1 og 2)</b>	
LINKING SCIENCE AND DEVELOPMENT: EXPERIENCE FROM GROUNDWATER-RELATED WORK IN ASIA AND AFRICA Dr. Karen G. Villholth, IWMI, International Water Management Institute	17
DECADAL EXPERIENCE FROM BUILDING CAPACITY IN THE WATER SECTOR OF GHANA Senior Scientist, M.Sc. Kurt Klitten, GEUS)	18
IMPLEMENTING TOOLS AND STANDARDS FROM THE DANISH GROUNDWATER MAPPING CONCEPT ABROAD - CHALLENGES AND EXPERIENCES Research Geophysicist Verner Halskov Søndergaard, GEUS	19
GROUND WATER SCIENCE INTO WATER POLICY: THE IMPORTANCE AND MEANS OF EFFECTIVE COMMUNICATION WITH DECISION-MAKERS Dr. Andrew Stone, Executive Director, American Ground Water Trust	20
<b>Modelværktøjer i sagsbehandling (modul 4)</b>	
OPTIMERING AF GEOLOGISK TOLKNING AF SKYTEM MED SEISMIK OG SSV Geolog Johanne Urup , Rambøll	23
3D-VISUALISERING AF INDVINDINGS- OG GRUNDVANDS-DANNENDE OPLANDE I GEOSCENE3D Cand.scient. Claus Holst Iversen, Favrskov kommune	24
KLIMATILPASNING AF AARHUS MIDTBY Hydrogeolog, ph.d. Thomas Wernberg, ALECTIA A/S	26
<b>Fra kortlægning til indsatsplaner (modul 5)</b>	
PÅ VEJ MOD EN OPERATIONEL INDSATSPLAN Landskabsforvalter Nikolaj Ludvigsen, ConTerra ApS	27
INDSATSPLAN BEDER - OPSAMLING OG ANVENDELSE AF VIDEN FRA KORTLÆGNINGEN Geolog Charlotte Bamberg, Aarhus Kommune	28
KAN GRUNDVANDSMODELLER VÆRE ET AKTIVT VÆRKTØJ FOR KOMMUNERNE? ERFARINGER FRA SVERIGE Grundvattenpl., docent, Gunnar Ch Borg, C4 Teknik, Kristianstads Kommun	29

	Side
<b>Målrettet og boringsnær beskyttelse (modul 6)</b>	
FRA GRUNDVANDSKORTLÆGNING TIL GENNEMFØRLIG, OMKOSTNINGSEFFEKTIV BESKYTTELSE Chefkonsulent, agronom Christian Thirup, ALECTIA A/S	31
BNBO I AALBORG KOMMUNE – HVORFOR OG HVORDAN Ph.d. Louise Bjergbæk, Aalborg Kommune og team- og ekspertisechef Jacob Birk Jensen, NIRAS A/S	32
BORINGSNÆRE BESKYTTELSESOMRÅDER I AARHUS KOMMUNE Civilingeniør Niels Cajus Pedersen, Aarhus Kommune	33
<b>Spor 3</b>	
<b>Lavpraktisk indeklimasikring (modul 1)</b>	
PILOTPROJEKT MED OPTIMERING AF PASSIV VENTILATION TIL SIKRING AF INDEKLIMA Specialist Tage V. Bote, COWI A/S	35
INDEKLIMA SIKRING I PRAKSIS - LÆRING OG OPTIMERING AF PASSIV VENTILATIONS LØSNING Civilingeniør Arne Rokkjær, Region Hovedstaden	36
INDEKLIMASIKRING VED VENTILLERET HULRUM Udviklingsleder Thomas Hauerberg Larsen, Orbicon (Pernille Kjærsgaard)	37
<b>Mange mindre sager (modul 2)</b>	
RESULTAT AF REGION SYDDANMARKS INDSATS OVER FOR JORDFORURENING PÅ BØRNEINSTITUTIONER. Civilingeniør Kristian Dragsbæk Raun, Region Syddanmark	39
EDD - RÅDGIVEREN MED SKÆG OG BLÅ BRILLER Geolog, chefkonsulent Søren Nielsen, Rambøll	40
DANMARKS STØRSTE FRIVILLIGE OPRENSNING - DONG ENERGYS TRANSFORMERSTATIONER Projektchef John U. Bastrup, GEO	41
<b>Olie (modul 3)</b>	
ERFARINGER MED VILLAOLIETANKVEJLEDNINGEN - STYRKER OG SVAGHEDER Sektionsleder Jacob Heggelund Christiansen, COWI A/S	43
LÆKAGE PÅ ULOVLIG OLJETANK; MYNDIGHEDSFØRSLØBET, NØDVENDIGE SELVHJÆPSSHANDLINGER OG VEJEN TIL EN SOLID RISIKOVURDERING Miljøbiolog Susanne Prior Drønen, Fredensborg kommune, og civilingeniør Majbrith Langeland, Grøntmij A/S	44
KULBRINTER I INDEKLIMAET – KOMMER DE FRA OLIEFORURENING ELLER INDBO, RYGNING ELLER ANDET? Civilingeniør Dorte Harrekilde, Rambøll	45

	Side
<b>Punktkilders påvirkning af grundvand (modul 4)</b>	
JORDFORURENING OG KLIMAÆNDRINGER – HØRLØKKE LOSSEPLADS, VOJENS Civilingeniør, ph.d. Jørn K. Pedersen, Region Syddanmark	47
HANDLINGSPLAN FOR GRUNDVANDSINDSATSEN I REGION SJÆLLAND Chefkonsulent Hanne Møller Jensen, Region Sjælland	48
RISIKOKATEGORISERING OG FLUXBEREGNING AF PUNKT- KILDER SOM EN DEL AF GRUNDVANDSKORTLÆGNINGEN Hydrolog, ph.d. Jens Asger Andersen, Naturstyrelsen	49
<b>Stimuleret reduktiv dechlorering (modul 5)</b>	
<i>IN SITU</i> STIMULERET REDUKTIV DECHLORERING AF TCE I MORÆNELER. INDSIGT FRA 4 ÅRS FULDSKALA SRD PÅ 2 LOKALITETER Lektor Mette M. Broholm, DTU Miljø	51
PRACTICAL TOOL FOR REMEDIATION DESIGN OF ENHANCED REDUCTIVE DECHLORINATION IN FRACTURED CLAY TILLS: INFLUENCE OF SITE SPECIFIC AND DESIGN PARAMETERS ON REMEDIATION PERFORMANCE Ph.d.-studerende Julie C. Chambon, DTU Miljø	52
KAN MIP ANVENDES SOM VÆRKTØJ TIL VURDERING AF IN SITU SRD AFVÆRGE I MORÆNELER? Ph.d.-studerende Ida Damgaard, DTU Miljø	53
<b>Metoder (modul 6)</b>	
SAMMENLIGNING AF MIMS OG KULRØRSANALYSER UDFØRT PÅ RENSERI- GRUND PÅ ÆRØ – FEJLFINDING OG TOLKNING – KAN VI BRUGE RESULTATERNE? Geolog Britt Boye Thrane, Rambøll	55
UDTAGNING AF POREVANDPRØVER I UMÆTTET ZONE - VURDERING AF NEDSIVNING TIL GRUNDVANDET Andreas Houlberg Kristensen, Dansk Miljørådgivning A/S	56
SPORGASUNDERSØGELSER - KONTROL AF MEMBRANTÆTHED OG PÅVISNING AF AKTIVE SPREDNINGSVEJE Gennem KLOAKKER Civilingeniør Bjarke Hoffmark, COWI A/S	57
<b>Spor 4</b>	
<b>DNAPL (modul 1)</b>	
DNAPL MASS ESTIMATES: AN UNCERTAIN FUTURE Gary Wealthall, Contaminant Hydrogeologist, GeoSyntec Consultants	59
DNAPL OPRENSNINGSPOTENTIALET AF CHLOREREDE OPLØSNINGSMIDLER VIA GRØN RUST Ph.d.-studerende Kristina Kern, DTU Miljø	60



	Side
<b>Collstrop (modul 2)</b>	
FORURENINGER FRA TRÆIMPRÆGNERINGSVIRKSOMHEDER – FRA MEDIERNES SØGELYS TIL DET DAGLIGE ARBEJDE I REGIONER OG KOMMUNER Civilingeniør Helle Larson, Region Midtjylland, og geolog Kristian Lei Kaltoft, Aarhus Kommune	61
LIDT OM TUNGMETALLER OG JORDBUNDSKEMI Forstkandidat, ph.d. Julie Katrine Jensen, Rambøll	62
KEMISK STABILISERING AF AS, CR OG CU FORURENET JORD MED OKKERSLAM FRA VANDVÆRKER Ph.d.-studerende Sanne Skov Nielsen, DTU Miljø	63
<b>Valg af afværgemetoder (modul 3)</b>	
FASTLÆGGELSE AF OPRENSNINGSKRITERIER FOR GRUNDVANDSTRUENDE FORURENINGER Civilingeniør Niels Døssing Overheu, Orbicon A/S	65
SAMLET STRATEGI FOR IN SITU OPRENSNING AF GRUNDVANDET UNDER GRUBE 1 OG 2 I KÆRGÅRD PLANTAGE Civilingeniør Torben Højbjerg Jørgensen, COWI A/S	66
MILJØMÆSSIG OPTIMERING AF IN SITU TERMISK AFVÆRGE VED BRUG AF LIVSCYKLUSVURDERING Postdoc Gitte Lemming, DTU Miljø	67
<b>Stråling (modul 6)</b>	
RADONSIKRING I EKSISTERENDE BOLIGER Ingeniør Jesper Bruun Petersen, NIRAS A/S	69
REGIONALE UNDERSØGELSER FOR AT UDPEGE POTENTIELLE OMRÅDER TIL SLUTDEPOT FOR DET LAV-MELLEM RADIOAKTIVE AFFALD FRA RISØ Chefkonsulent Peter Gravesen, GEUS	70
DEPONERING AF RADIOAKTIVT AFFALD I DANMARK – RISIKOVURDERING AF MODELKONCEPTER Senior Specialist Lizzi Andersen, COWI A/S	71
<b>Helhedsorienteret opgaveløsning - keynoteindlæg –</b>	
HELHEDSORIENTERET MILJØVURDERING AF VANDRESSOURCER I ET VANDDRAMMEPERSPEKTIV Professor Poul L. Bjerg, DTU Miljø	73
HELHEDSORIENTERET MILJØVURDERING AF TEKNOLOGIER I ET LIVSCYKLUSPERSPEKTIV Professor Michael Z. Hauschild, Quantitative Sustainability Assessment, DTU Management Engineering	74



## BÆREDYGTIG VANDINDVINDING – HVAD ER DET?

Projektchef Troels Kærgaard Bjerre  
VandCenter Syd A/S  
tkb@vandcenter.dk

Inden for en kort årrække er der udsigt til at flere større vandforsyninger i Danmark vil blive mødt med krav om reduktion eller omlægning af vandindvindingen. Årsagen er de statslige vandplaner, der fastsætter miljømål for grundvandsforekomsternes tilstand – bl.a. med henblik på at sikre bæredygtig vandindvinding. Omkostningerne kan blive store.

Særligt i Østdanmark, hvor høj befolkningstæthed og begrænset grundvandsdannelse medfører store interessekonflikter i anvendelsen af grundvandsressourcen. Problemstillingen er også aktuel på VandCenter Syds kildepladser, hvor grundvandsforekomsterne ifølge vandplanen har udnyttelsesgrader på mere end 1000 %.

Beslutningsgrundlaget for vandplanerne er dog særdeles spinkelt. Det er der redegjort for i artiklen "Vandplanerne medfører krav om reduktion af vandindvindingen", der blev publiceret i Dansk Vand i april 2011.

Metoden der er benyttet i vandplanerne til fastsættelse af grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand har både stærke og svage sider. På nogle punkter afviger den fra den erkendelsesmæssige udvikling i det 20. århundrede fra "Safe Yield" til "Sustainable Yield". Det gælder i særdeleshed kravet om at oppumpningen ikke må overstige 35 % af den naturlige grundvandsdannelse.

Metoden, der er benyttet i de danske vandplaner, er i store træk i tråd med Vandrammedirektivets bilag 5 og Guidance Document nr. 18 fra EU-kommissionen. Men Vandrammedirektivet og EU's vejledning er udformet, så der er mulighed for tilpasning til lokale forhold. Den levner god plads til metodemæssig frihed. Og da der indenfor grundvandsområdet endvidere ikke er foretaget interkalibrering af miljømål i EU, er denne frihed blevet udnyttet til fulde.

Når man ser nærmere på, hvorledes opgaven er grebet an i landene omkring os, er der således iøjnefaldende stor forskel på metoderne, der er benyttet til fastsættelse af grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand. Det viser et studie af vandplanerne fra Tyskland, England, Irland, Sverige og Frankrig. Nogle metodemæssige forskelle kan være velbegrundede og enkle at forstå (eksempelvis forskelle i datagrundlag samt klimatiske og hydrogeologiske forhold) mens andre kan være sværere at forstå.

Det er helt afgørende, at der foretages en grundig evaluering af metodikken, der er benyttet i de danske vandplaner med hensyn til fastsættelse af grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand. I den forbindelse vil det være oplagt at se på, hvordan vores nabolande har løst opgaven. Forhåbentlig vil det medføre et bedre bud på grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand i den 2. generation af vandplaner i 2015.

## VANDINDVINDING OG VANDLØBSPÅVIRKNING

Projektleder Jens Rasmussen  
Københavns Energi A/S  
jera@ke.dk

En af hjørnestene i vandplanernes opfyldelse af målsætningen i forhold til grundvandets kvantitative mål på Sjælland er vandindvindingens vandløbspåvirkning.

Københavns Energi er med en årlig vandindvinding på omkring 52 mio. m<sup>3</sup> om året en af de væsentligste spillere på dette område.

Sideløbende med at kommunerne udarbejder handleplaner for de indsatser, der skal implementeres i vandplanernes første planperiode, er Københavns Energi ved at udarbejde VVM-redegørelser for de i alt 49 kildepladser, hvor en stor del af hovedstaden drikkevand i fremtiden skal indvindes.

Langt de fleste af Københavns Energis kildepladser er beliggende langs vandløb, så problemstillingen er yderst relevant.

Vandplanerne tager udgangspunkt i, at vandindvindingen ikke på må påvirke vandløbenes sommervandføring på en måde, så målopfyldelsen bringes i fare. Der tages her udgangspunkt i en given acceptabel påvirkningsprocent af medianminimumsvandføringen i forhold til vandføringen inden vandindvindingens start – mellem 5 og 25 % afhængig af det pågældende vandløbs målsætning og sårbarhed.

Det er dog kun få steder, at vandføringen før indvindingens start kendes, så Naturstyrelsen har foretaget modelberegninger, der fastlægger vandføringen uden vandindvinding. På den baggrund er der på Sjælland opstillet målsætninger for medianminimumsvandføringen på i alt 940 vandløbsstationer.

For perioden 1995 – 2005 (modelperioden) er det ud fra modelberegningerne fastslået, hvor det er nødvendigt at foretage indsatser i forhold til vandindvindingens påvirkning af sommervandføringen. Vurderingerne er altså foretaget ud fra historiske data.

For at råde bod på dette har Københavns Energi også – med Naturstyrelsens model – kørt et scenarie med de faktisk ansøgte vandmængder.

Københavns Energi har endvidere gennem de sidste år gennemført faunaklassemålinger på en række vandløbsstrækninger i tilknytning til vores kildepladser for derigennem at skabe et billede af den biologiske tilstand – og hermed målopfyldelsen i vandløbene.

Indlægget vil søge at samle trådene omkring vandindvinding og dens påvirkning af vandløbene, og fremadrettet give forslag til løsninger på, hvordan vandforsyning og opnåelse af god økologisk tilstand i vores vandløb kan sikres.

## VANDINDVINDING OG GRUNDVANDSAFHÆNGIG NATUR

Msc, PhD Ole Munch Johansen  
NIRAS A/S  
omu@niras.dk

I EU's vandrammedirektiv stilles krav til at hensyn til vandløb, søer og terrestriske naturtyper, som afhænger af grundvand, skal indgå i vurderingen af grundvandsforekomsternes kvantitative og kvalitative status. I den forbindelse bliver hydrologisk modellering et centralt værktøj (Højberg et al. 2007). Der er allerede foretaget landsdækkende ressourceopgørelser ved anvendelse af DK-modellen (GEUS), hvor hensyn til overfladevands-recipienterne er inkluderet, dog på relativt stor skala (Henriksen and Sonnenborg 2003). I ådale og øvrige udstrømningsområder findes imidlertid en række grundvandsafhængige terrestriske vådområder, hvor effekten af vandindvinding ikke umiddelbart kan vurderes uden en lokal beskrivelse af de hydrologiske og geologiske forhold.

Et eksempel på et sådant område findes i Lindenberg Ådal syd for Volsted Plantage med forekomster af naturtyperne rigkær og kildevæld. Her har det kommunale vandforsyningselskab siden 2005 undersøgt mulighederne for at etablere en ny kildeplads. I området er der opnået et detaljeret indblik i de lokale udstrømningsmønstre via et omfattende undersøgelsesprogram udført af NIRAS, samt flere afgangsprojekter og et PhD-studie ved AAU. De naturlige vandstandsforhold i det tilstødende kalkmagasin og i rigkærene er monitoreret vha. 23 tryktransducere. En kombination af dybe og korte borer er anvendt for at kunne overvåge den opadrettede hydrauliske gradient, som er karakteristisk for naturtypen rigkær (Almendinger and Leete 1998, Cirkel et al. 2010, Klijn and Witte 1999). I 2009 blev der udført to fuldskala pumpeforsøg af tre ugers varighed med en ydelse på ca. 50 m<sup>3</sup> pr. time. Effekten på vandføringer i områdets kildevæld blev monitoreret og indgår som en central del af valideringen af en detaljeret hydrologisk model. Under prøvepumpningsforsøgene kunne der ikke måles en signifikant effekt på vandstandsforholdene i områdets rigkær bl.a. grundet naturlige fluktuationer. Modelforudsigelser er således et afgørende værktøj for konsekvensvurderingen i området. Vegetationen i rigkærene er kortlagt, og der er fundet et lavt til middel antal karakteristiske rigkærarter. Enkelte steder afspejler vegetationen dog en høj naturkvalitet med en stabil tilførsel af næringsfattigt grundvand. Indlægget vil beskrive processen fra ubeskrivet ådal til kvantitativ hydrologisk konsekvensvurdering. Områdets sårbarhed og den vegetative respons vil blive diskuteret på baggrund af undersøgelser, som omfatter et større antal danske lokaliteter.

Almendinger J.E., Leete J.H., 1998. Regional and local hydrogeology of calcareous fens in the Minnesota river basin, USA. *Wetlands* 18 (2), 184-202.

Cirkel D.G., Witte J.-M., van der Zee S.E.A.T.M., 2010. Estimating seepage intensities from groundwater level time series by inverse modelling: A sensitivity analysis on wet meadow scenarios. *J.Hydrol.* 385 (1-4), 132-42.

Henriksen H.J., Sonnenborg A., 2003. Ferskvandets kredsløb. NOVA 2003 temarapport, ISSN/ISBN: 87-7871-114-2. GEUS - Geological Survey of Denmark and Greenland <http://vandmodel.dk/FK1-kapitel3.pdf>.

Højberg A.L., Refsgaard J.C., van Geer F., Jørgensen L.F., Zsuffa I., 2007. Use of models to support the monitoring requirements in the water framework directive. *Water Resour.Manage.* 21 (10), 1649-72.

Klijn F., Witte J.-M., 1999. Eco-hydrology: Groundwater flow and site factors in plant ecology. *Hydrogeol.J.* 7 (1), 65-77.



## **FJERNELSE AF GRUNDVANDSFORURENING MED MIKROORGANISMER – FREMTIDENS LØSNING PÅ FORTIDENS SYNDER?**

Forsker, ph.d. Christian Nyrop Albers  
De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)  
cal@geus.dk

GEUS er i øjeblikket involveret i flere projekter, som undersøger muligheden for at fjerne fremmedstoffer i grundvand ved at udnytte mikroorganismers evne til at nedbryde stofferne. Idéen er i første omgang at tilsætte bakterierne direkte til vandværkernes eksisterende filtre, hvor de vil reducere koncentrationen af stofferne til under grænseværdien for drikkevand. Man kunne også forestille sig en opstilling af separate filtre som supplement til den eksisterende simple vandbehandling eller til rensning i afværgeboringer / lukkede boringer.

I et naturstyrelsesprojekt har GEUS med samarbejdspartnere netop udført et praktisk pilotforsøg med nedbrydning af BAM under realistiske forhold. Herudover er GEUS koordinator af et større igangværende projekt (MIRESOWA) støttet af det strategiske forskningsråd samt diverse vandværker og andre interessenter vedrørende rensning af såvel jord som drikkevand med pesticid-nedbrydende bakterier og svampe. Endelig er et større EU-projekt (BIOTREAT) netop startet med samarbejdspartnere spredt rundt i Europa. Formålet med dette projekt er at undersøge mulighederne for rensning af grund- og overfladevand for såvel gamle "kendinge" i form af forskellige pesticider som nye stoffer, såsom diverse lægemidler.

Projekterne indeholder flere interessante problemstillinger: Dels er der naturligvis de rent videnskabelige problemstillinger, f.eks. hvorvidt bakterierne er i stand til at fjerne de ønskede fremmedstoffer under de relevante forhold. Her er en række umiddelbare problemstillinger i øjeblikket under belysning, såsom opbygning af effektive bakteriepopulationer under næringsfattige forhold, den krævede opholdstid i filtrene for at opnå tilstrækkelig nedbrydning, effekt af tilbageskyl af filtrene, dannelse af nedbrydningsprodukter og andre relevante problemstillinger.

Herudover er der en række etiske/politiske problemstillinger, som berører, hvorvidt vi i Danmark ønsker at foretage en udvidet vandbehandling for ikke at miste værdifulde grundvandsressourcer, når disse påvirkes af forurening. Hvor brugen af aktivt kul ofte afvises med den begrundelse, at det er en glidebane blot at kunne rense sig ud af en grundvandsforurening, vil "rensning" med mikroorganismer, udover at være et billigere og miljømæssigt bedre alternativ, som udgangspunkt målrette rensningen mod fortidens synder, hvor der ikke længere tilføjes ny forurening til miljøet, men hvor problemerne vil bestå langt ud i fremtiden. Man vil altså ikke blot kunne forurene med det argument, at man altid kan rense sig ud af problemet, da der ikke nødvendigvis vil være effektive mikroorganismer tilgængelige til rensning.

Konkrete resultater for nedbrydning af BAM i testfiltre tilsat en jordbakterie, som GEUS isolerede for år tilbage, vil blive præsenteret. På laboratorieskala ser det lovende ud med betydelig fjernelse under forhold relevante for sandfiltre på vandværk og de første "feltforsøg" er under opbygning. En mulig ny teknologisk løsning på et eksisterende miljøproblem vil således blive introduceret, hvilket forhåbentlig kan lægge op til debat om behovet for og potentialet af denne nye teknologi.

## **ERFARINGER MED GRUNDVANDSBESKYTTELSE Gennem OFFENTLIG OG PRIVAT SKOVREJSNING VED ODENSE**

Sektionsleder, landinspektør Morten Hartvigsen  
Orbicon A/S  
moha@orbicon.dk

VandCenter Syds strategi for grundvandsbeskyttelse indgår både offentlig og privat skovrejsning som en væsentlig indsats. VandCenter Syd har i de senere år gennemført projekter med både offentlig og privat skovrejsning og har således betydelige erfaringer med begge virkemidler.

VandCenter Syd, Naturstyrelsen og Odense Kommune har siden 2001 haft en samarbejdsaftale om statslig og kommunal skovrejsning ved opkøb af landbrugsjord i et 650 ha stort område ved Elmelund vest for Odense, hvor VandCenter Syd har en af sine betydeligste kildepladser. Orbicon gennemførte i vinteren 2008/09 en ejendomsmæssig forundersøgelse, hvor skovrejsningsprojektet blev drøftet med lodsejerne enkeltvis. En række lodsejere var positive over for at sælge projektarealer eller afstå dem i bytte for erstatningsarealer udenfor projektområdet. Derfor blev der i maj 2009 påbegyndt planlægning af en jordfordelingssag i området. Jordfordelingen blev gennemført med skæringsdag i februar 2010, hvor der i alt blev erhvervet 316 ha til skovrejsning i projektområdet, dels ved jordfordeling og dels ved skødehandler.

I 2009-10 har VandCenter Syd gennemført et pilot projekt omkring tilskud til privat skovrejsning i forsyningens interesseområder. Orbicon har udviklet konceptet for tilskud fra forsyningen i samspil med den statslige tilskudsordning til privat skovrejsning. Forsyningen indgår dyrkningsaftale om pesticidfri drift og forbud mod tilførsel af kvælstof samtidig med at lods ejeren søger om tilskud til privat skovrejsning fra Naturstyrelsens statslige ordning. Konceptet er testet i tre pilotområder syd for Odense. Af i alt 63 lodsejere var 20 interesserede i privat skovrejsning. Der blev indgået aftale med 6 lodsejere. De første private skovearealer er plantet i foråret 2011.

Erfaringerne viser, at produktionslandbrugene normalt ikke vil være interesserede i at indgå aftale om privat skovrejsning. Interesserede er derimod ofte ejere af deltids- og fritidsejendomme, hvor produktionen er ikke afhængig af det samlede jordtilliggende, f.eks. til hobbydyrhold (heste eller kreaturer), eller hvis man er natur- og jagtinteresseret.

Erfaringerne ved Odense viser samlet set, at hvis man skal optimere grundvandsbeskyttelsen gennem skovrejsning, er det vigtigt, at man kan give lodsejerne forskellige tilbud at vælge imellem (herunder salg af areal, salg af areal mod erstatningsjord, tilskud til privat skovrejsning, samt alene aftale om pesticidfri drift, hvor alternativet er at der ikke sikres grundvandsbeskyttelse). Erfaringerne har også vist, at gennemførelse af en ejendomsmæssig forundersøgelse er en god og forholdsvis billig måde at screene lodsejerinteressen på, før man begynder at indgå lodsejeraftaler. Samtidig giver en forundersøgelse mulighed for at beregne et overslag over den samlede økonomiske udgift, som lodsejernes tilkendegivelser vil medføre.



## **SKOV ER WIN-WIN FOR GRUNDVAND OG CO<sub>2</sub> - MÅSKE??**

Hydrogeolog, ph.d. Ulla L. Ladekarl, ALECTIA A/S  
ula@alectia.com  
Agronom Anders Gade, ALECTIA A/S

Skovrejsning bruges i dag som et stærkt værktøj til grundvandsbeskyttelse i forhold til nitrat og pesticider, forøgelse af biodiversitet og rekreative områder. Med klimænderinger er der voksende fokus på skovens værdi i biogasproduktion (energiskov) og CO<sub>2</sub> akkumulering. Både kommuner og vandforsyninger bruger skovrejsning som virkemiddel til grundvandsbeskyttelse, men for vandforsyningerne tæller det ekstra positivt på bundlinien, at skoven også kan bruges i CO<sub>2</sub>-regnskabet. Men, men, men - i det globale perspektiv ser det helt anderledes ud. 1 ha landbrugsproduktion, som tages ud af drift i Danmark, erstattes på det globale marked med op til 3 ha regnskov! Hvis forsyningerne skal bruge skov i CO<sub>2</sub> regnskabet, er det altså en anden sammenligning, der skal foretages, f.eks. forskellen mellem CO<sub>2</sub>-lagring i vedvarende græs og skov.

I indlægget vil vi opsummere skovrejsningens effekt på vand, kvælstofregnskabet og CO<sub>2</sub>-regnskabet. Disse balancer/regnskaber vil blive sammenlignet med andre grundvandsbeskyttende tiltag, så tilhørerne får en fornemmelse af hvornår man skal vælge hvad.

Hvor meget grundvand, der kan beskyttes, afhænger især af økonomi. Kommunerne er økonomisk trængte, landbruget er trængt, og hvis man ser bort fra jordforureningsområdet, så er der kun vandforsyningerne tilbage til at bære udgiften. Det gælder derfor om at finde den økonomisk mest optimale måde at få den bedste beskyttelse på. I det regnskab indgår vandmængden, nitratindholdet, pesticidbelastningen og nu også CO<sub>2</sub>-regnskabet. CO<sub>2</sub>-regnskabet er helt nyt, og forsyningerne griber efter det. I skov ophobes store mængder kulstof, og samtidig kan vedmassen bruges som bioenergi. Alle de gode egenskaber bør sammenlignes, og også den effekt tiltag kan have på det globale regnskab. Erfaringen viser, at vi har tendens til at kigge på vores egen lille enhed og tænker ikke på, at f.eks. produktionen af afgrøder er effektiv i Danmark. Opgørelser viser, at det, der svarer til en ha afgrøder i Danmark, bliver erstattet af afgrøder fra 3 ha regnskov eller savanne, som skal ryddes og tilplantes. Skovrejsning i Danmark er den arealanvendelse, som kommer nærmest en erstatning for denne afskovning udenfor vores grænser. ’

Ud fra praktiske eksempler på grundvandsbeskyttelse hos vandforsyninger, undersøgelser og forskning opstilles prioriteringsværktøjer til at vælge den mest optimale form for grundvandsbeskyttelse med fokus på skov. I værktøjet indgår kvælstofbalance, vandbalance (hvilken arealanvendelse giver mest grundvand??), bioproduktion og CO<sub>2</sub>-lagring. Skoven kan ikke stå alene som grundvandsbeskyttelse, og vi perspektiverer til andre former for arealanvendelse for at kunne pege på en gangbar fremgangsmåde til at opnå en rigtig win-win situation.

Skovens gode egenskaber i forhold til grundvandsbeskyttelse kendes, men brugen af skov til bioproduktion og CO<sub>2</sub>-lagring er ny og giver en masse stof til eftertanke. F.eks. hvordan vi afgrænser vores CO<sub>2</sub> beregning – er det indenfor matriklen eller jordkloden? Hvor dyrt er rent vand egentlig? Hvis vi ikke beskytter grundvandet, skal vi måske købe vand på flasker. Flaskevand har et betydeligt højere CO<sub>2</sub>-footprint end grundvand.



## INTEGRATED ASSESSMENT OF THE IMPACT OF GROUNDWATER CONTAMINATION TO SURFACE WATER ECOSYSTEMS

Professor Philip J. Binning<sup>1</sup>, Dr. U.S. McKnight<sup>1</sup>, PhD student J.J. Rasmussen<sup>2</sup>,  
Professor B. Kronvang<sup>2</sup>, Professor P.L. Bjerg<sup>1</sup>.  
<sup>1</sup>DTU Miljø, 2800 Lyngby, <sup>2</sup>NERI, Aarhus University.  
pjbi@env.dtu.dk

The release of chemicals like chlorinated solvents, pesticides and micropollutants from groundwater to streams, either from contaminated sites, accidental or direct application/release, is a significant threat to water resources. Fulfilling the requirements of the EU Water Framework Directive is challenging, as it is difficult to successfully evaluate all the contaminant pressures stressing an ecosystem. Here, four different methods for determining the ecological status of streams are evaluated for a case study where the effects of major physical habitat degradation can be disregarded as a stressor.

Four different ecosystem impact methods were assessed and compared for a contaminated site located at Skensved Stream, Sjælland. There is a significant groundwater discharge of chlorinated solvents originating from a contaminated site flowing into the stream and the stream is also impacted by pesticides. The methods are: i) the Danish Stream Fauna Index (DSFI) ii) The German SPEAR index, and the iii) Hazard Quotient and iv) AQUATOX approaches developed by the USEPA.

The field study indicates that the ecological status indicator currently applied to evaluate Danish streams is not capable of capturing the effects of specific pollutants on benthic macroinvertebrates. Both modelling and ecological sampling-based methods confirmed that macro- and micro-nutrients, as well as contaminants originating from groundwater do not affect the good ecological status at this site.

In contrast, results from the novel SPEARpesticides index indicated that this field site is far from obtaining good ecological status – a direct contradiction to the ecological sampling-based index currently in use in Denmark today – most likely due to pesticides originating from storm water runoff. In order to generalise the findings in this case study, the models were extended for additional compounds.

All modelling results indicated that naphthalene, glyphosate and 4-nonylphenol could adversely impact ecosystems at commonly observed concentrations in streams. In general, modelled thresholds determined for all compounds were found to be within the source mass discharge ranges expected at sites where contaminants may leach from groundwater. Results demonstrate that the DSFI currently used in Denmark for assessment of ecological impact is not suitable for assessing the impact of many common types of contaminants in streams. Alternatives must be developed and will probably lead to a determination of poorer ecological status in many Danish streams.

## **SYNERGI MELLEM NATUR- OG AFLØBSSYSTEMER GIVER BEDRE VANDMILJØ OG BILLIGERE KLIMATILPASNING**

Seniorkonsulent, biolog Holger Petersen  
NIRAS A/S  
hpe@niras.dk

I Græse Å ved Slangerup er der gennemført et integreret projekt for restaurering af vandløbet og forsinkelse/rensning af regnvandsudledningen til åen. I forbindelse med restaureringen af Græse Å er vandløbstracéet omlagt, så der blev skabt plads til anlæg af et lavbundsareal, der ved kraftig regn kan rumme store mængder regnvand fra de nærliggende boligområder.

Projektet indeholder en fuldstændig restaurering af Græse Å inden for projektområdet, og Frederikssund Kommune og Forsyning har dermed i fællesskab samtidig taget et væsentligt skridt mod opfyldelse af kravene i den kommende Vandplan. Prisen for det samlede projekt er skønnet 20 % billigere end et kloakteknisk anlæg med samme kapacitet.

Sillebro Å lever ikke op til de i Vandplanen fastsatte krav. Frederikssund Forsyning og Frederikssund Kommune har udarbejdet et projekt til forbedring af miljøet i vandløbet. Projektet omfatter en genslyngning af åen og en bedre rensning af de store mængder regnvand, der tilledes åen, ved etablering en række bassiner for at opfange og rense regnvandet fra hustage og veje inden udledning til vandløbet.

Bassinerne udformes som periodisk oversvømmede områder i de laveste dele af ådalen med et minimum af terrænregulering og vil dermed indpasses naturligt i de eksisterende landskabsformer.

Smådyrsfaunaen i vandløbet er artsfattig, og det er på trods af tidligere udsætninger af ørred ikke lykkedes at skabe en stabil selvreproducerende ørredbestand i vandløbet. Den større variation, der opnås i vandløbet ved genslyngning og udlægning af grus og sten, samt den bedre rensning af regnvandet vurderes at være en forudsætning for etablering af en selvreproducerende ørredbestand i vandløbet og et væsentligt mere varieret plante- og dyreliv generelt.

## VAND TIL MARKVANDING

Specialkonsulent Søren Kolind Hvid  
Videncentret for Landbrug  
skh@vfl.dk

Vand til markvanding har stor betydning for planteproduktionen på mange grovsandede jorde. 17 pct. af landbrugsarealet i Danmark svarende til 465.000 ha kan markvandes. I de tidligere Ribe og Ringkøbing amter er det dog godt 50 pct. af landbrugsarealet, der kan markvandes. Markvanding sikrer højere udbytter og er væsentlig for afgrødekvaliteten i f.eks. kartofler og grønsager samt for sikkerheden for tilstrækkeligt grovfoder i kvægbruget.

Langt det meste vand til markvanding er grundvand. Tilladelser til markvanding gives normalt for 15 år ad gangen. Samlet er der givet tilladelse til at anvende godt 500 mio. m<sup>3</sup> til markvanding. I gennemsnit over en årrække anvendes dog kun mellem 50 og 60 pct. af den tilladte mængde. Det hænger sammen med, at behovet for vand til markvanding varierer særdeles meget fra år til år afhængig af primært nedbøren i vækstsæsonen. Vand til markvanding udgør som gennemsnit over en årrække 25-30 % af den samlede indvinding af grundvand. Vand til markvanding adskiller sig dog fra anden indvinding ved, at en betydelig del reinfiltreer, formentlig omkring 30 pct.

Langt de fleste steder i landet er det påvirkningen af sommervandføringen (medianminimum) i vandløbene, der er begrænsende for adgangen til at indvinde vand til markvanding. Grænseværdierne for påvirkning af medianminimumsvandføringen afhænger af vandløbsmålsætningerne og har oprindelse i recipientkvalitetsplanlægningen fra 1970'erne. Det faglige grundlag for kravværdierne er diskutabelt og burde have været revideret i forbindelse med vandplanerne, hvilket imidlertid ikke er sket. Grundlaget for administrationen af vandingstilladelser er ikke velfunderet. Dertil kommer en betydelig usikkerhed på beregningen af vandløbspåvirkningen, når vandføringen er mindst om sommeren. Det er jo sikkert, at den merfordampning (vandindvinding minus reinfiltration), som markvandingen medfører, giver en tilsvarende reduktion i vandføringen i vandløbene. Det er imidlertid usikkert i hvilken grad påvirkningen er udjævnet over året. Kendskabet til de terrænnære grundvandsmagasiner og geologien i de terrænnære jordlag er mange steder utilstrækkelig til at der kan udføres korrekte beregninger på lokal skala. Vandløbsspecifikke data for den hydrauliske kontakt mellem grundvandsmagasiner og vandløb (lækagefaktoren) er stort set fraværende. Der er kun gennemført én feltundersøgelse, hvor man har forsøgt at måle, om den beregnede vandløbspåvirkning var korrekt (Haller å undersøgelsen). Det var svært at måle en påvirkning og den var meget udjævnet.

Der er behov for udvikling af nye kravværdier for maksimal påvirkning af vandføringen baseret på habitatmodeller. Der er behov for et langt bedre datagrundlag vedrørende den terrænnære hydrologi og geologi. Der er behov for udvikling af en ny, fælles beregningsmodel. Og der er i høj grad behov for at teste og validere påvirknings-beregningerne. Det kan næsten ikke undgås, at fagligt kvalificerede påvirkningsberegninger bliver administrativt tunge og omkostningskrævende at foretage. Derfor bør det overvejes, at lade de overordnede beregninger udføre af en statslig myndighed og så bygge en forenklet administrationsmodel ovenpå til brug for kommunerne.



## **MÅLINGER I GREVES KLIMATILPASNING MED FOKUS PÅ INTERAKTION MELLEM DEN ØVRE GRUNDVANDSZONE OG OVERFLADEAFSTRØMNINGERNE**

Civilingeniør, fagchef klimatilpasning Birgit Krogh Paludan  
Greve Solrød Forsyning  
bpa@gsforsyning.dk

De seneste års oversvømmelser har vist at hvert af elementerne i vandkredsløbet ikke kan analyseres separat ved klimatilpasning: ved langvarig og koblet regn stiger vandstanden i grundvandszonen hvilket betyder at afstrømningen ved nedbør stiger både pga. at bufferzonen i jorden er reduceret og pga. øget interflow. Den øgede vandføring giver større risiko for oversvømmelser, hvilket der er flere eksempler på i de seneste 5 år i Danmark.

Greve Kommunes og Forsynings klimatilpasningsstrategi bygger i høj grad på anvendelse af målinger, så det sikres at de hydrauliske modeller repræsenterer virkeligheden og så der kan identificeres årsagssammenhænge mellem overfladisk afstrømning og vandstanden i den øvre grundvandszone.

Målinger i den øvre grundvandszone, kombineret med nedbør og vandføring i vandløb og regnvandssystemer, viser tydeligt, at det er nødvendigt at se på grundvandsstanden ved beregninger af afstrømningssystemer i land og by.

Greve Forsyning gennemfører analyser af målinger ved brug af simple vandbalancer og komplicerede hydrauliske modeller.

Præsentationen vil vise sammenhængene mellem overflade vand og det overfladenære grundvandsspejl og vise hvordan resultatet kan anvendes til klimatilpasning. Uddrag af resultater fra et projekt hvor MIKE-SHE og MIKE-Urban er kombineret vil blive vist.

Greve Forsynings måleprogram og anvendelsen af målingerne i praksis vil blive præsenteret. Præsentationen vil vise at det i høj grad er nødvendigt at arbejde hen over traditionelle faggrænser når afstrømningssystemerne skal klimatilpasses.

**KARLSTRUP MOSE  
– KLIMATILPASNING, VAND- OG NATURPROJEKT**

Chefkonsulent, markedschef Henrik Lynghus  
NIRAS A/S  
lyn@niras.dk

Greve og Solrød Kommuner har gennem en årrække oplevet oversvømmelser i forbindelse med skybrud og afstrømninger fra kraftig afsmeltning. Flere af disse oversvømmelser skyldtes overbelastede vandløbssystemer.

Desuden er flere af områdets vandløb hårdt reguleret grundet landbrugets ønsker om mere effektiv dræning i det åbne land. Dette har medført voldsomt forringet vandløbskvalitet, dårlig vandkvalitet og reduceret diversitet. Også de landskabelige og rekreative værdier er under pres.

Greve og Solrød Kommune, samt Greve-Solrød Forsyning har i samarbejde med NIRAS ud tænkt, planlagt og projekteret et helhedsorienteret vand- og naturprojekt, der samler alle interesser omkring håndtering af overfladevand, målopfyldelse ift. vandrammedirektivet, sikring af boliger mod oversvømmelse, øget natur- og rekreativ værdi mm. i én samlet indsats.

Indsatsen omfatter genopretning eller omlægning af 5 målsatte vandløb, ændring af afløbssystemer, etablering af et opsparringsvolumen på ca. 40.000 m<sup>3</sup>, øgede muligheder for fri-luftslivet, krydsning af både motorvej, Karlstrup Strandvej og S-togsbanen.

De forberedende aktiviteter har rummet skitseprojektering, samt myndighedsbehandling, der bl.a. omfatter dispensation fra 3 eksisterende fredninger, vandløbsregulering iht vandløbsloven, §3-dispensations, landzonetilladelse, kystbeskyttelse mv.

Det forventes, at anlægsarbejderne, der gennemføres 2012-2013 vil sikre opnåelse af både besparelser og betydelige synergier i forhold til de mere traditionelle løsningsalternativer.



## ET SCREENINGSVÆRKTØJ TIL VURDERING AF POTENTIALET FOR LAR

Cand. scient., ph.d. Peter Møller Duch  
ALECTIA A/S  
pmd@alectia.com

ALECTIA har udviklet et værktøj til screening af potentialet for lokal afledning af regnvand (LAR). På baggrund af eksisterende data og et system for tildeling af point giver værktøjet et output som illustrerer mulighederne for at implementere LAR i byområder. Konceptet giver pt. mulighed for at vurdere egnetheden af LAR-elementer som faskiner, regnbede, grønne tage og regnvandstanke under hensyntagen til de væsentligste parametre og kriterier.

Værktøjet kan i første omgang udnyttes til at få et overblik over det samlede potentiale for at afkoble kloaknettet for væsentlige bidrag af regnvand fra bygninger og befæstede arealer ved anvendelse af LAR. Ydermere opnås en vifte af udkast til en egentlig LAR afvandingsplan, der evt. kan testes i en efterfølgende modelleringsfase, eller ved nærmere konkret indsats i et udvalgt byområde.

Værktøjet er baseret på et scoresystem på matrikelniveau, hvor egnetheden af forskellige LAR-elementer vurderes ved at pointgive parametre, som er styrende for egnetheden af LAR-elementet. De betragtede styrende parametre er:

- 1) etableringsomkostninger
- 2) krav til vedligehold
- 3) rekreativ værdi/biodiversitet
- 4) hydraulisk performance - reduktion af max flow (f. eks. en 10 års hændelse)
- 5) hydraulisk performance - reduktion af volumen
- 6) pladsbehov
- 7) rensningseffekt
- 8) hydrologi
- 9) bygningens egnethed for afkobling

Den samlede score (egnethed) for et LAR-element på matrikelniveau findes som en vægtet sum af scorerne for de enkelte parametre. Resultaterne foreligger som opslagstabeller på matrikelniveau i GIS og kan let aggregeres til f.eks. kloakoplande eller andre relevante overordnede områdeinddelinger.

Screeningens datagrundlag skal være geografisk refereret og kan omfatte oplysninger udledt fra datakilder af følgende type: Matrikelregister/-kort, bygnings- og boligregister (BBR), terræn/-overflademodeller, grundvandsmodeller, jordartskort, geologiske modeller, 3D bymodeller, forurenede arealer og luftfotos.

Screeningskonceptet er demonstreret på alle byområder i Slagelse Kommune. Screeningen indikerer, at afstrømningen fra hustage kan halveres ved brug af LAR. Den største hydrauliske effekt af LAR vil generelt kunne opnås i de perifere dele af byerne, hvor betingelserne for nedsivning af regnvand ved faskiner og regnbede er bedst. De centrale dele af byerne er generelt lavtliggende, tæt bebyggede og i nogle tilfælde forbundet med jordforurening, hvilket vanskeliggør nedsivning. Her bør der i højere grad sættes på grønne tage og genanvendelse af regnvand ved tanke, hvorved der kan opnås en betragtelig tilbageholdelse.



## **LINKING SCIENCE AND DEVELOPMENT: EXPERIENCE FROM GROUNDWATER-RELATED WORK IN ASIA AND AFRICA**

Dr. Karen G. Villholth  
IWMI, International Water Management Institute  
k.villholth@cgiar.org

Groundwater has a dichotomy of inherent characteristics, like its almost ubiquitous presence and slow responsiveness to external stressors, which on the one hand addresses the needs and challenges of growing populations and increasing climate variability, but on the other hand are at the root of the complexities associated with its management. Everybody, with relatively few means can individually access and benefit from groundwater in incrementally small, but accumulatively significant amounts, circumventing and hampering effective regulation and control of its development and use. Similarly, overabstraction or degradation today may not affect the resource or connected systems and create externalities until long after socio-economic benefits have started to accrue to the users. Hence, it is difficult to advocate for precautionary development, preventive behaviour, and pro-active management when it comes to groundwater.

Africa and Asia represent contrasting scenarios in terms of groundwater development, use, and management challenges, despite the fact that their hydrogeological and climatic conditions in broad terms are comparable. In India, 70 % of irrigated land is supplied by groundwater, while the same figure for Africa as a whole is less than 5 %. This implies that groundwater more so is governed by socio-economic conditions than by physical conditions. Considering that India has over-stretched its groundwater resources while Africa still needs to put their resources into beneficial uses, the question becomes, how to curtail groundwater use in one setting while promoting its development in the other, in both cases attaining a sustainable long-term scenario.

To understand, and thereby influence, groundwater development potentials, limits and outcomes, there is a need for interdisciplinary research and development work. Unlike surface water, groundwater development does not necessarily require engineering and large scale investments. It can be done in the hands of multiple private entrepreneurial farmers. However, and maybe again in contrast with surface water, for unpacking the potential consequences of groundwater development and for setting sustainability limits, specialized knowledge is required, which is often either not available or not invested in the process.

Hence, the challenge becomes one of guiding and optimizing the process of development, while at the same time translating scientific knowledge of the aquifers, their functionality and development potential into usable and implementable regulation and management tools, so as to avoid negative environmental and socio-economic consequences. Extensive experience exists from work in both regions. However, more efforts should be put into developing, targeting, and disseminating such guidance tools, based on collective, interdisciplinary and shared knowledge from the two regions.

## **DECADAL EXPERIENCE FROM BUILDING CAPACITY IN THE WATER SECTOR OF GHANA**

Senior Scientist, M.Sc. Kurt Klitten

GEUS

kk@geus.dk

After 16 years with substantial Danish support (DKK 747 mill.) targeted specifically at the water sector in Ghana mainly through the governmental Community Water & Sanitation Agency (CWSA), Danida shifted in 2009 from a Water & Sanitation Sector Programme (WSSPS) to indirect support to the water sector through a new "Local Service Delivery & Governance Programme (LSDGP). For the first three years, the new programme contained earmarked funds (DKK 100 mill.) for Rural Water Supply and Sanitation (RWSS), but no funds for Water Resources Management Services (WRMS). The total allocation to LSDGP is DKK 600 mill. for 5 years. Major part is channelized through a national District Development Fund (DDF) to the districts, which then make their own priorities within water supply, sanitation, education, health, feeder roads. In the LSDGP, CWSA's role has gradually shifted from implementing RWSS activities to an advisory and supervision role for the districts.

Capacity building and institutional support to the stakeholders of the RWSS including private contractors and consultants and to the WRMS institutions were important parts of the Danish water sector support for which DKK 991 mill. was allocated for the years 1993-2008. However, the actual expenditure came to only 747 mill., mainly because of less investment in RWS&S facilities than expected due to tight quality control by Danish consultants (TA). The Danish TA for provision of capacity building, supervision and quality control was substantial (20 % of budget) during the WSSPS. Therefore, the drastic cut in TA in the new LSDGP (only two long term Advisors assigned for institutional support at department level) is another paradigm shift. Even though significant improvement of the capacity within the public as well as the private sector has been achieved through the WSSPS and through a simultaneous 12 years Danida/ENRECA programme in hydrogeology and hydrology at the University of Ghana (UG), the present approach to TA, including hydrogeological assistance, seems risky with a view to ensure "getting value for money" in the new LSDGP. One third of the LSDGP funds, i.e. DKK 200 mill. will most probably be spent on water supply, and it seems hazardous to assume CWSA alone will and can ensure quality control of this investment.

Findings from two PhD-studies under the ENRECA programme at UG indicate that many of the drilling companies operating in the hard rock areas of Ghana do not provide reliable borehole records, i.e. serious errors on recorded drilling depth, completion design and geology. The studies further show, that geophysical methods quite often are applied inadequately by Ghanaian hydrogeological consultants for selection of prospective drilling sites, thus resulting in too many unsuccessful boreholes in certain hard rock areas. In addition to these findings, a recently completed four-year Canadian desk study of existing hydrogeological data from the northern Ghana has shown (what is generally known by most of the Ghanaian drilling companies) that there are quite huge unfavorable hard rock areas within Northern Region where the success rate of drilling campaigns are less than 40 % irrespectively whether geophysics is used or not for site selection. Regardless of these experiences and of the fact that 10-17 m deep hand dug wells tapping groundwater from the weathered mantle of the hard rock has been proven as a more cost effective alternative by a Danida funded NGO (CLIP) based in Tamale, the drilling of boreholes is still the preferred solution by CWSA for providing drinking water to the rural population all over Ghana.

## **IMPLEMENTING TOOLS AND STANDARDS FROM THE DANISH GROUNDWATER MAPPING CONCEPT ABROAD - CHALLENGES AND EXPERIENCES**

Research Geophysicist Verner Halskov Søndergaard  
Geological Survey of Denmark and Greenland – GEUS  
vhs@geus.dk

Groundwater resources are becoming increasingly important all over the world as a source for drinking water supply as well as irrigation purposes. Improvement of the relevant knowledge has thus become a necessity!

The objective of the National Danish Groundwater Mapping Programme initiated in 1999 was to get a detailed description of the aquifers with respect to localisation, extension, distribution and interconnection as well as their vulnerability against contaminants. The mapping programme covers 17.400 km<sup>2</sup>, some 40 percent of the area of Denmark designated as particularly valuable water abstraction areas.

The mapping programme involves the use of geophysical survey methods, survey drillings, well logging, water sampling as well as geological and groundwater modelling. New effective tools and methods have been developed as an outcome of the national Danish groundwater mapping project. The airborne electromagnetic mapping system, the SkyTEM system developed by scientists at the University of Aarhus, should be mentioned as one of the major achievements. Since the first mapping campaign with the SkyTEM system in 2003 the system is now regularly used not only in Denmark but also internationally where 3-D mapping of groundwater bodies is carried out.

A special, integrated management system has been developed to manage data from this large and long-lasting mapping programme in order for data to be easily stored, extracted, interpreted, recombined and reused one time after the other. The system includes a comprehensive national database for geophysical data, the GERDA database, a national database for various types of borehole information, the Jupiter database, The Aarhus Workbench for processing, interpretation and visualisation of electrical and electromagnetic data, and finally the 3D visualisation and modelling tool GeoScene3D for geological modelling and data quality control.

The experiences from the national Danish groundwater mapping project have been noticed in a many countries where the challenge of protecting groundwater resources is now faced. The Danish experiences reveal a lot of aspects that seem quite interesting to national geological surveys, national water authorities, water supply companies: the detailed mapping scale, new developed methods, an integrated data handling system, the cooperation between participants (authorities, consulting companies, universities), ongoing education of participants, national mapping guidelines and standards as a prerequisite to be able to compare and join results from adjacent mapping areas carried out over several years.

The challenges to export and implement the Danish systems, tools and experiences are several, though. When talking about national mapping campaigns a proper and stable organisation is required to organize the mapping project, develop standards and guidelines, plan for further education, run databases and software systems just to mention a few items. But it can be done and some really interesting cases are coming up!

**GROUND WATER SCIENCE INTO WATER POLICY:  
THE IMPORTANCE AND MEANS OF EFFECTIVE COMMUNICATION  
WITH DECISION-MAKERS**

Dr. Andrew Stone, Executive Director  
American Ground Water Trust, Concord, New Hampshire, USA  
astone@agwt.org

World-wide, ignorance and misunderstanding of ground water is a major barrier to effective water resources management. Ground water professionals need to be advocates for sensible water policy to ensure that water allocation, resource protection and land-use decisions are based on hydrologic reality. Science-based knowledge that is effectively communicated can support the dual objectives of sustainably maximizing the use of ground water for economic, social and environmental benefit while protecting against overdevelopment and water quality degradation.

Ground water professionals need to be prepared to share their expertise and be powerful advocates who provide information, create awareness and support education initiatives that promote the important economic and environmental role of ground water. Targets for ground water advocacy are policy makers, end-users, resource managers, organizations concerned with economic development, and citizen organizations involved with resource & habitat sustainability.

The presentation will describe successful education programs that have facilitated the framing of water resources issues, enabled ground water professionals to become involved in communicating their science to other professions and have been able to influence local, regional and national policies. Specific ground water issues and education initiatives that will be addressed include: explaining the role of ground water in sustaining wetlands, describing water well potential in property transactions, promoting managed aquifer storage as an alternative to surface storage, demonstrating technology to suppress saline intrusion of coastal aquifers, providing a hydrologic framework for water rights and jurisdictional authority over water, ensuring that geothermal ground-loop installations don't jeopardize aquifers, and training owners of high-yield wells to reduce energy demand and infrastructure costs through effective well design and pump operation.

Many school curricula pay little attention to water issues. Providing basic ground water training for school teachers can be effective in increasing earth-science awareness among school students. Today's students will be tomorrow's decision-makers. To maximize "hydrologic literacy" teaching opportunities, teachers must be shown how to integrate water issues into existing core subjects. The presentation will include a description of an American Ground Water Trust program that has trained over two thousand teachers.

p.t.o.



## AMERICAN GROUND WATER TRUST

The *American Ground Water Trust* ([www.agwt.org/](http://www.agwt.org/)) is a non-profit organization that promotes awareness, cooperation and action among individuals, groups and organizations. It has the core mission of promoting “science as the basis for water policy.” Specifically, the AGWT’s conference and workshop programs and educational materials:

- ◆ **Communicate the environmental and economic value of ground water**
- ◆ **Showcase ground water science and technology solutions**
- ◆ **Increase citizen, community and decision-maker awareness**
- ◆ **Facilitate stakeholder participation in water resource decisions**

Andrew Stone is the Executive Director of the American Ground Water Trust. He has over thirty five years of ground water experience in Africa and the United States as a university professor, ground water consultant and ground water advocate & educator. He has first-hand experience of ground water exploration, well design and source protection in a wide variety of geologic environments. As the director of the AGWT’s education programs he has convened and coordinated over one hundred and fifty conference programs related to ground source heating and cooling technology, well design, ground water management, aquifer storage recovery, conjunctive use, water banking, and asset management. From 1990 to 2002, as adjunct professor, he taught an annual course on Ground Water Protection Policy in the Masters Degree Program at Antioch New England Graduate School. He is the Director of the *International Association of Hydrogeologists’ Commission on Groundwater for Decision Makers*. ([astone@agwt.org](mailto:astone@agwt.org))





## OPTIMERING AF GEOLOGISK TOLKNING AF SKYTEM MED SEISMIK OG SSV

Geofysiker Peter Thomsen, geolog, Johanne Urup, Rambøll  
geolog Frank Andreasen, Naturstyrelsen Roskilde  
prt@ramboll.dk, jnu@ramboll.dk og frand@nst.dk

Opstillingen af geologiske og især hydrostratigrafiske modeller spiller en central rolle i den igangværende nationale grundvandskortlægning. De opstillede modeller anvendes som input til den efterfølgende hydrologiske model, hvorfor kvaliteten af de udarbejdede modeller er meget afgørende for kvaliteten af de hydrologiske modeller. De hydrostratigrafiske modeller er også en vigtig del af sårbarhedskortlægningen, hvor lertykkelser indgår som en vigtig del af datagrundlaget ved udpegning af nitratfølsomme indvindingsområder (NFI-områder).

De geologiske og hydrostratigrafiske modeller opstilles primært på baggrund af boringsdata og geofysiske data indenfor modelområdet. Det geofysiske datagrundlag består af eksempelvis af MEP, PACES og TEM eller SkyTEM (elektriske og elektromagnetiske metoder) samt evt. seismiske data. Tolkningen af de geofysiske data er ikke altid lige simpel. Moræner kan eksempelvis have en høj elektrisk modstand, og kan derfor forveksles med sandede aflejringer, mens kalkaflejringer erfaringsmæssigt kan resultere i meget forskellige elektriske modstande fx pga. tilstedeværelsen af salt grundvand. Gode seismiske data vil typisk øge værdien af boredata fordi man kan ekstrapolere kendt viden ud i et stort område langs de seismiske linier. Resultaterne af seismiske undersøgelser kan også bidrage til at opløse problemstillingen omkring kalken og modstandsforskelle, mens problemstillingen omkring ler med høj modstand kan være lidt vanskeligere at løse.

SSV-metoden (geoStatistical estimation of Structural Vulnerability)

Som et supplement til den traditionelle fremgangsmåde ved opstilling af modeller kan SSV-metoden anvendes. Ved SSV-metoden kombineres den lithologiske information fra borerne med de geofysiske modstandsmodeller, således at der opnås den bedst mulige overensstemmelse mellem disse to forskellige datatyper. Resultatet af en traditionel SSV-modellering er en oversætterfunktion, som dels kan anvendes til at omsætte geofysiske målinger til lithologi i et konkret område, dels kan fremstille optimerede geofysiske lertykkel-seskort, der efterfølgende kan anvendes som et forbedret datagrundlag i forbindelse med en sårbarhedskortlægning. I indlægget præsenterer vi et supplement til anvendelsen af SSV-metoden, som har været et vigtigt værktøj ved tolkningen af den geologiske model.

Case:Lolland

Ved opdatering af Lollandsmodellen har de geofysiske data bestået af en fladedækkende SkyTEM-kortlægning og en omfattende seismisk kortlægning med data af høj kvalitet. På Lolland består prækvartæret af skrivekridt (sk), bryozokalk (bk) og palæocænt ler (pl). Både saltvand og pl har lave modstande, og indholdet af disse kan derfor overprøve de kvartære aflejringer og bk/sk. Dvs. at sand/grus og bk/sk kan have både høje og lave modstande (saltvand eller ej) og moræner også både kan have høje og lave modstande (indhold af pl eller bk/sk). Boringsdata koblet med de seismiske data har givet nøglen til forståelsen af geologien (dale, forkastninger og lithologiske grænser) og på den baggrund en nøgle til anvendelsen af SkyTEM-data i forhold til de lithologiske enheder i både prækvartæret og i kvartæret (ved hjælp af SSV-oversættelsen). Ved definition af opgaver/beslutninger om kortlægning er det vigtigt at vide, hvilke styrker de forskellige data har, og at samtolkningen mellem forskellige typer af data er essentiel for beskrivelsen af den geologiske opbygning.

### 3D-VISUALISERING AF INDVINDINGS- OG GRUNDVANDSDANNENDE OPLANDE I GEOSCENE3D

Cand.scient, Claus Holst Iversen, Favrskov kommune, Natur og Miljø, chiv@favrskov.dk  
Cand.scient, Lonnie Frøjk, I•GIS, lof@i-gis.dk

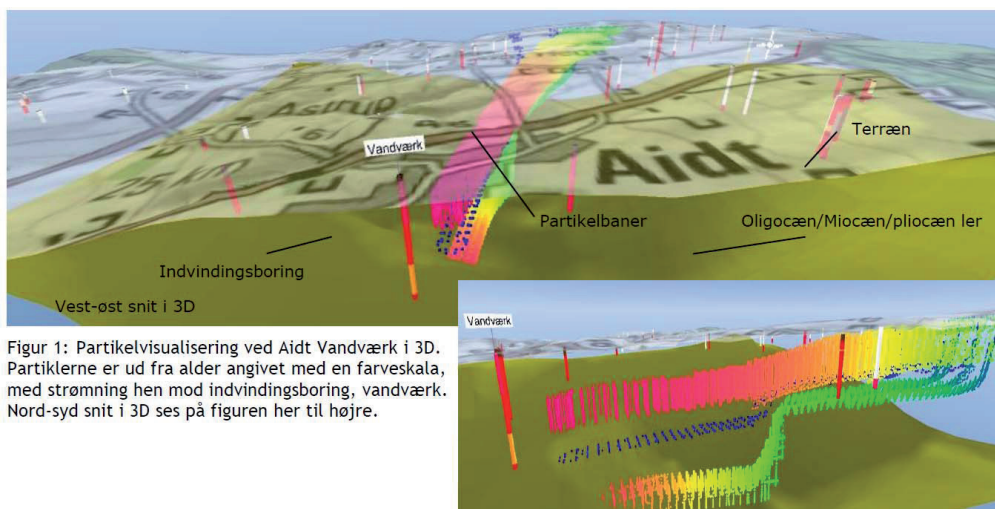
I•GIS har som bekendt udviklet programmet GeoScene3D /1/, som er en Windows applikation til tolkning, visualisering og formidling af forskellige datatyper indenfor jord og grundvand. Programmet kan udover at vise geologiske lag og tolkninger, også inddrage forureningsfaner og partikelbaneberegninger fra div. numeriske grundvandsmodeller.

Favrskov Kommune har udført en række partikelbanesimuleringer på fremtidige kildepladser i området omkring Hvorslev. Kildepladserne, som ligger centralt placeret i en begravet nord-sydgående dalstruktur, er antagelig påvirket af en større grundvandsforurening bestående af klorerede opløsningsmidler. Derfor er det særligt vigtigt at have styr på både indvindingsoplandenes og forureningsfanernes rummelige placering i den hydrogeologiske model. Her har en visualisering i GeoScene3D af både forureningsfaner og partikelbaner været et vigtigt element i den konceptuelle forståelse for områdets hydrogeologi.

Resultaterne fra denne undersøgelse vil indgå i Favrskov Kommunes indsatsplanlægning for området ved Hvorslev, og således gøre den hydrogeologiske kortlægning mere forståelig for områdets interessenter.

Der er i forbindelse med den nationale grundvandskortlægning /2/ opstillet en stationær numerisk grundvandsmodel /3/ i programmet GW-Vistas/MODFLOW. Modellen består af i alt 5 beregningslag, hvoraf der indgår 3 aquifer og 2 aquitardlag. Modellen er opstillet med en cellediskretisering på 50 meter. I modellen indgår en begravet dalstruktur, som strækker sig nord-syd fra Ulstrup i nord til Thorsø i syd. Dalens max. dybde udgør enkelte steder op til ca. 250 m.u.t.

Der er udført advektiv/konservative partikelbanesimuleringer i programmet MODPATH, som understøtter MODFLOW. Der er således beregnet både indvindings- og grundvandsdannende oplande til 2 fremtidige kildepladser til Thorsø og Aidt vandværker (jf. figur 1). Samtidig er der udført partikelbanesimuleringer ved en større losseplads, som er beliggende i området tæt på de 2 vandværker.



Figur 1: Partikelvisualisering ved Aidt Vandværk i 3D. Partiklerne er ud fra alder angivet med en farveskala, med strømning hen mod indvindingsboring, vandværk. Nord-syd snit i 3D ses på figuren her til højre.

I områder, hvor der er placeret flere indvindingsboringer tæt på hinanden, vil det naturligvis være svært visuelt, at præsentere de enkelte 3D-oplande og skelne dem fra hinanden. Dette vil kræve en del databearbejdning i GIS.

Samtidig er der i den numeriske grundvandsmodel ofte en begrænsning i, hvor mange partikelbaner man kan eksportere fra hver scenariekørsel/oplandsberegning /4/.

3D-visualisering af indvindings- og grundvandsdannende oplande i GeoScene3D, for Hvorslev-området, har givet en større forståelse for aldersfordelingen af de enkelte vandpartikler, herunder hvor grund-vandet til kildepladsen dannes, og hvilken vej vandet bevæger sig.

Traditionelt har man optegnet oplandet "i hånden" eller i GIS, men 3D-visualisering af både indvindingsoplandet og det grundvandsdannende opland er med til at gøre oplandsbegrebet mere forståelig. 3D-oplandet sammenholdt med en 3D-opløsning af geologien giver brugeren en hurtig og rummelig forståelse for, hvordan vandet bevæger sig mellem de enkelte grundvandsmagasiner.

Samtidig har det i denne undersøgelse været muligt at validere den geologiske og hydrologiske model i GeoScene3D, da det har været let at finde modelfejl som fx forkert tolkede laggrænser helt ned på boringsniveau.

Visualisering af numerisk beregnede indvindings- og grundvandsdannende oplande i GeoScene3D er et nyttigt værktøj. Især i områder hvor både geologien og de lokale strømningsforhold er komplekse. Her vil visualisering af et 3D-indvindingsopland fx i forbindelse med indsatsplanlægningen, være med til at skabe en større fælles forståelse mellem fagfolk og interessenter.

/1/ I-GIS hjemmeside: <http://i-gis.dk>, /2/ Hydrogeologisk undersøgelse ved Hvorslev, Viborg Amt, 2005, /3/ Miljøcenter Århus, Hvorslev Indsatsområde, 2008, Alectia, /4/ Geo-Vejledning nr. 2 "Indvindings- og grundvandsdannende oplande, Iversen, C.H, Lauritsen, L.U, Nyholm, T., Kürstein, J., GEUS, (2008)

## KLIMATILPASNING AF AARHUS MIDTBY

Hydrogeolog, ph.d. Thomas Wernberg, ALECTIA A/S

thw@alectia.com

Biolog Anders Christensen, Odense Kommune

Aarhus midtby skal klimasikres mod fremtidige oversvømmelseshændelser. Oversvømmelserne forekommer primært når vandstanden i Aarhus bugt er høj og sekundært ved kraftig vandføring i Aarhus Å. Ved høj vandstand i bugten presses havvand ind i havnen og op i Aarhus Å. Ved højvande i år 2006 var vandet således 10 cm fra at oversvømme den indre by. Lokale tilfælde af "monsterregn" kan ligeledes forårsage oversvømmelser i de lavtliggende ånære områder.

I forbindelse med opførslen af et nyt Multimediehus (*Urban Mediaspace*) på Aarhus havn etableres et dige langs banelegemet og der anlægges en sluse med tilhørende pumpestation i Aarhus Å. Projektet indbefatter ligeledes en genåbning af den nederste strækning af Aarhus Å.

I tilknytning til genåbningen af Aarhus Å ønsker kommunen desuden at øge den rekreative udnyttelse af åen. Kano- og kajaksejlads i åen er imidlertid besværliggjort af for lav vandstand i åen. Derfor anlægges en tærskel ved åens udløb, der skal sikre en fast minimumsvandstand længere oppe i vandløbssystemet.

Projektet har indledningsvis fastlagt, hvor høj vandstandskote der kan tillades i Aarhus Å uden at der forekommer oversvømmelser. Statistisk analyse af lukketider har derefter fastlagt hvad det vil betyde for lukketiden og driften af slusen. Der er herefter lavet konsekvensvurdering for faunapassage og rekreativ udnyttelse af Aarhus Å.

Arbejdet på beskrivelse af de hydrologiske forhold benytter statistiske betragtninger suppleret med en eksisterende forecast MIKE 11 model for Aarhus Å, opdateret 2011 samt CFD (Computational Fluid Dynamics) beregninger på detailniveau. Desuden har HydroGeoSphere været i brug for at belyse variationer i det øvre grundvandsspejl under byen under forhøjet vandstand.

Modelberegninger viser at en lukkehøjde på 1.4 m over daglig vande ikke medfører kritiske oversvømmelser langs Aarhus å. Dette svarer til at slusen i dag skal lukkes hvert 2. år, men i år 2100 vil der være over 6 årlige sluselukninger ved en forøget vandstand på 0,7 m.

Pumpestationen skal kunne håndtere en vandføring på op til 18 m<sup>3</sup>/s (fremtidig maks. vandføring). Modelberegninger viser at det store skybrud i Aarhus i 2005 gav en momentan vandføringsforøgelse i åen på ca. 10 m<sup>3</sup>/s, hvilket er inden for pumpekapaciteten.

Tærskelen er udarbejdet med henblik på at hæve vandstanden til 10 cm over normal. For at sikre gode passageforhold for fauna og sejlene er der udarbejdet forslag til passagedimensioner suppleret med modelberegninger. Dette inkluderer lokketrøm til fisk. Tærsklens dimensioner er optimeret vha. CFD beregninger.

I arbejdet med nyt udløb for Aarhus Å har der været adskillige tværdisciplinære tiltag og indlægget tager udgangspunkt i arbejdsprocessen og viser ved hjælp af modelberegninger, hvorledes man når et slutdesign.

## PÅ VEJ MOD EN OPERATIONEL INDSATSPLAN

Landskabsforvalter Nikolaj Ludvigsen  
ConTerra Aps  
ctnlu@conterra.dk

Indsatsplaner for grundvandsbeskyttelse udarbejdes som hovedregel i kommunalt regi ud fra en statslig grundvandskortlægning. Denne opdeling er hensigtsmæssig på mange måder. Der sikres på den måde en faglig kvalificeret kortlægning med udpegning af sårbare områder, som den kommunale indsatsplan sætter beskyttelsestiltag op for. Dvs., at det er i den kommunale indsatsplanlægning, at den endelige risikovurdering foretages, og beskyttelsestiltagene afvejes efter indvindingsforhold samt øvrige naturgivne og samfundsmæssige rammer.

Det giver god mening, at indsatserne fastsættes på kommunalt niveau. Eksempelvis vil de samme geologiske forhold kunne give anledning til varierende prioritering af beskyttelsesforanstaltninger efter de lokale omstændigheder og forhold. Der er for eksempel stor forskel på, om man befinder sig på en isoleret ø, hvor drikkevandsressourcerne er begrænset til få grundvandsmagasiner, eller om man befinder sig i områder, hvor drikkevandsressourcerne er mindre presset i forhold til de samfundsmæssige behov.

Til trods for at den kommunale forpligtelse til at beskytte sårbare ressourcer kan variere, kan den ikke tilsidesættes. De reelle muligheder for en aktiv beskyttelse er dog begrænsede mange steder på anden måde. Grundene til dette er dels, at der kan være lovgivningsmæssige og administrative udfordringer, finansieringsmæssige grunde, samt forhold hvor de statslige kortlægningsresultater ikke er tilstrækkeligt målrettet den lokale/kommunale virkelighed.

I forhold til nitrat og pesticider præges mange indsatsplaner derfor af gode intentioner, som er svære at følge op på, idet det er problematisk at fastsætte handlinger i planen. I et konkret eksempel vises, hvorledes en indsatsplan kan gøres operationel i forhold til regulering af nitratudvaskningen. Eksemplet viser bl.a.:

- hvorledes der er foretaget en konkret risikovurdering for at fastsætte beskyttelsesforanstaltninger
- hvorledes indsatsen målrettes de relevante vandforsyninger
- hvorledes indsatser gøres handlingsorienteret ved involvering af vandforsyninger og repræsentanter for jordbrugere i området

I eksemplet vil det fremgå, at der har været behov for at supplere den statslige kortlægning for at kunne målrette indsatsen. Desuden vil det fremgå, at værdien af et vandsamarbejde mellem vandforsyninger i området har været betydende, idet det i højere grad åbner mulighed for en aktiv beskyttelse af potentielle indvindingsområder. Et sådant vandsamarbejde er dog ikke en forudsætning for at opnå en operationel indsatsplan.

## **INDSATSPLAN BEDER - OPSAMLING OG ANVENDELSE AF VIDEN FRA KORTLÆGNINGEN**

Geolog Charlotte Bamberg, Aarhus Kommune  
chba@aarhus.dk  
Geolog , ph.d. Theis Raaschou Andersen, Rambøll Danmark A/S  
tra@ramboll.dk

Efterhånden som den nationale grundvandskortlægning bliver udført af Naturstyrelsen vil mange kommuner stå med store områder, som er kortlagt med geofysiske, kemiske, hydrologiske og geologiske data. Endvidere vil der for mange området være opstillet grundvandsmodeller samt geologiske og hydrostratigrafiske modeller. Modellerne vil dog variere i udbredelse, detaljeringsgrad og aktualitet. Udfordringen for kommunerne er derfor at omsætte al denne data til viden som kan bruges i den fremtidige indsatsplanlægning.

For at imødekomme udfordringen om at gøre data anvendelige i indsatsplanlægningen besluttede Aarhus Kommune at afprøve konceptet om at opbygge en samlet platform, hvori al tilgængelig data og viden er samlet.

For Indsatsområde Beder, som er et 29 km<sup>2</sup> stort område syd for Aarhus By, er der udarbejdet et forslag til Indsatsplan, hvor en opbygning af supplerende viden til den oprindelige grundvandskortlægning var nødvendig for at kunne operationalisere indsatserne i indsatsplanen. Dette skete på en vidensplatform hvor grundstenen i platformen er en hydrostratigrafisk model.

For at gøre viden operationel, er det vigtigt, at detaljeringsgraden af modellen muliggør, at man kan regulere indsatserne på lokalt niveau. På baggrund heraf blev den hydrostratigrafiske model opsat med profilinjer langs med og vinkelret på den begravede dalstryktur med afstande på 250 m, for derved at benytte alle data.

Først og fremmest har den hydrostratigrafiske model for Beder indsatsområde gjort det nemmere at overskue og visualisere den til tider komplekse geologi i området. Modellen giver mulighed for at vurdere tykkelsen og udbredelsen af grundvandsforekomsterne, endvidere viser modellen, at den primære nedsivning til de dybereliggende vandførende sandlag i dalene ikke nødvendigvis sker umiddelbart over dalene, men kan ske på de omkringliggende plateauer. Denne geologiske information, sammen med oplysninger om redoxgrænserne, vandkemi, topografi, prøvepumpninger, trykforhold, jordartskort, aquatiske miljøer ect. har bidraget til udpegning af de primære grundvandsdannende oplande til veldefinerede grundvandsforekomster. Dette er en afgørende forudsætning for både den proaktive indsats i forhold til nitratudvaskningen samt dokumentation i forhold til indsatsen overfor pesticider.

Der ud over giver denne detaljerede viden en forståelse for området, der er særlig anvendelig i forhold til planlægning af indvindingen lokalt, herunder planlægning af placering af f.eks. byudviklingsområder, virksomheder, lokal nedsivning af regnvand og skovrejsning.

For at undgå, at den viden der genereres i forbindelse med den nationale kortlægning ikke går tabt, forsøger Aarhus Kommune at opbygge en planform af viden i form af de hydrostratigrafiske modeller. Disse modeller skal være dynamiske og tilgængelig for interessenter (landbrug, vandværker, kommunens sagsbehandlere m.v.) således at alle arbejder ud for samme platform med den nyeste viden. Genereres nye data og viden indarbejdes de løbende i modellen.

## KAN GRUNDVANDSMODELLER VÆRE ET AKTIVT VÆRKTØJ FOR KOMMUNERNE? ERFARINGER FRA SVERIGE

Grundvattenplanerare, docent Gunnar Ch Borg  
C4 Teknik, Kristianstads Kommun, Sverige  
gunnar.borg@kristianstad.se

Danmark er ganske unikt med hensyn til hydrologiske modeller, idet størstedelen af landet er helt eller delvist dækket af numeriske grundvandsmodeller. Dette gælder ikke for Skåne, eller resten af Sverige. I foredraget vil vi give eksempler fra Kristianstads kommune, Skåne på, hvordan numeriske grundvandsmodeller kan anvendes i den kommunale planlægning til at prioritere og fordele grundvandsressourcer til forskellige formål.

Kristianstads kommune har fået udarbejdet en regionale hydrogeologiske model over den vigtige Kristianstadssletten, som nu udgør et aktiv værktøj som anvendes af flere interessenter (landbruget, kommune, industri og vandværker) bl.a. i forbindelse med ansøgning af indvindingstilladelser. Modellen lånes ud til interessenter mod, at nye informationerne omkring boringsdata, indvindinger, prøvepumpninger og anden hydrogeologisk viden indrapporteres til kommunen. Derved opdateres den regionale model løbende, samt der opbygges en række lokalmodeller, som dækker vigtige lokaliteter i forhold til vandindvinding og vandløbsafstrømningen.

Den regionale hydrologiske model er opstillet i MIKE SHE systemet, hvor hele det hydrologiske kredsløb er implementeret. Modellen dækker Kristianstadssletten, som er et af Nordeuropas største grundvandsmagasiner. Der indvindes mere end 30 mio. m<sup>3</sup>/år, og en betydelig del af dette er til markvanding. Set som gennemsnit hen over året er markvandingsdelen større end de andre indvindere tilsammen, dvs. kommunale vandværker, industri, private brønde og vand til dyrehold.

Modellen er anvendt til flere forskellige projekter som eksempelvis:

- Landbruget og Kristianstads Kommune har anvendt modellen til at vurdere miljøkonsekvensbeskrivelser af indvinding til markvanding. Tre gruppe af landbrugere på hhv. 44 landbrug har ansøgt om tilladelse til at anvende 5,35 mio. m<sup>3</sup>/år fra grundvand og overfladevand.
- MIKE SHE anvendes til beregning i forbindelse med, at en række landbrugere diskuterer med Länsstyrelsen omkring anvendelse af vand fra det følsomme vandløb Vramsån samt oppumpning af grundvand nær vandløbet til markvanding.
- Kristianstads kommune leder ny kildeplads, idet de nuværende indvindinger i byen trues af forurening fra en nedlagt losseplads. Det er forsat nødvendigt at pumpe indenfor byen for at sikre at grundvandsstanden ikke bliver for høj. Der skal derfor forsat pumpes, men nu anvendes vandet til køling i stedet for. Modellen udgør et vigtigt værktøj for dette projekt.
- Et nyt projekt gælder modellering af konsekvenser af fremtidigt klima og indvindingsforhold får Kristianstadssletten.

Den hydrologiske model er blevet et fælles værktøj for interessenterne, som Kristianstad Kommune sikrer, er operationel og opdateret. Er det noget andre, kan lære af?





## **FRA GRUNDVANDSKORTLÆGNING TIL GENNEMFØRLIG, OMKOSTNINGSEFFEKTIV BESKYTTELSE**

Chefkonsulent, agronom Christian Thirup, ALECTIA A/S, [cth@alectia.com](mailto:cth@alectia.com)  
Hydrogeolog, ph.d., Ulla Lyngs Ladekarl, ALECTIA A/S, [ula@alectia.com](mailto:ula@alectia.com)

Statens grundvandskortlægninger afleveres fortsat over de kommende 3-4 år til kommunerne, som efterfølgende laver indsatsplaner. Grundvandskortlægningen er grundlaget for udpegning af områder, hvor der skal ske en beskyttelse. Virkemidlerne til gennemførelse af grundvandsbeskyttelsen er hovedsageligt reguleringer iht. Husdyrloven ved udvidelser af husdyrbrug og dyrkningsaftaler. Beskyttelsen er til dels en opgave for vandforsyningerne. Beskyttelse af store arealer er meget omkostningstungt. Vandforsyningerne tænker i omkostningseffektive baner, hvor beskyttelsen vejes op mod alternativerne – nye boringer, nye kildefelter, tilslutning til andet vandværk etc.

Fra myndighedernes synspunkt betyder en OSD-udpegning, at her ligger både de nuværende og fremtidige drikkevandsreserver, og de skal beskyttes. Opgaven i indsatsplanlægningen er derfor 1) at få udpeget de områder indenfor OSD og indvindingsoplande, hvor en indsats giver mest rent drikkevand for pengene og 2) at give vandforsyningerne en *plan B*, som beskriver hvad de skal gøre, hvis de ikke magter opgaven med grundvandsbeskyttelse.

Zonering af indsatsområdet er vigtig for at forsyningerne kan gennemføre en omkostningseffektiv målretning af grundvandsbeskyttelsen. De områdeafgrænsninger (zoner), der gives i kortlægningen er ofte for store til, at det er omkostningseffektivt for forsyningen at betale for en total beskyttelse. Vandforsyningen har brug for at målrette grundvandsbeskyttelsen til de zoner, der er nødvendige og tilstrækkelige for den fremtidige vandforsyning. De vigtigste zoner mht. grundvandsbeskyttelse er:

- Zoner med stor grundvandsdannelse
- Zoner hvor grundvandet er ungt
- Zoner hvor forureningsrisikoen minimeres mest pr. investeret krone
- BNBO med grundvandsdannelse.

Dette indlæg belyser:

- Eksempler på hvordan zonering gør det muligt for forsyningerne at gennemføre en omkostningseffektiv grundvandsbeskyttelse.
- Vigtigheden af at indsatsplanerne tilpasses kravene i Vandsektorloven. Ellers kan vandforsyningerne ikke finansiere grundvandsbeskyttelsen.
- Store vandforsyninger har behov for dynamiske indsatsplaner. Det medfører, at indsatsplanerne skal klart definere kriterier for, hvornår der skal ske beskyttelse. Således at en tilpasning hos vandforsyningen automatisk udløser et justeret beskyttelseskrav uden at indsatsplanen skal revideres.
- Eksempler på hvordan målopfyldelse gennemføres omkostningseffektivt.

## BNBO I AALBORG KOMMUNE – HVORFOR OG HVORDAN

Ph.d. Louise Bjergbæk, Aalborg Kommune, lbj-forsyning@aalborg.dk  
Team- og ekspertisechef Jacob Birk Jensen, fagkoordinator Martin Mortensen, NIRAS A/S

Aalborg Kommune har gennem mange år arbejdet aktivt med at beskytte grundvandet mod nitrat og pesticider. Desværre har mulighederne i lovgivningen været begrænsede, da Statens grundvandskortlægning ikke indeholder en udpegning af pesticidfølsomme områder. Miljøministeriet har med de boringsnære beskyttelsesområder (BNBO) givet kommunerne et værktøj til at beskytte de sårbare vandindvindingsboringer mod pesticider og andre miljøfremmede stoffer.

Aalborg Kommune er i gang med at udpege BNBO for alle bæredygtige vandindvindingsboringer i kommunen. I forbindelse med udpegningen bliver der lavet en sårbarhedsvurdering. BNBO skal hovedsageligt bruges sammen med indsatsplaner for grundvandsbeskyttelse ved pålæg af dyrkningsrestriktioner, hvis det ikke er muligt at opnå en frivillig aftale.

BNBO udpegningen adskiller sig fra udpegning af et indvindings- eller infiltrationsopland ved at være afhængig af strømningshastigheder på forholdsvis lille skala. Afhængigheden af strømningshastigheder og arbejdet på kildepladsskala giver nogle udfordringer mht. fastsættelse af repræsentative parametre og deres usikkerhed. Som eksempel er BNBO arealet ligefrem proportional med den effektive porøsitet og den effektive magasintykkelse, som er to meget usikre parametre som typisk ikke har været i fokus i statens kortlægning. For at opnå en omkostnings- og miljøeffektiv BNBO udpegning har vi valgt en strategi, der kombinerer data og modeller på forskellig skala og som inddrager kommunens medarbejdere i størst muligt omfang. BNBO udpegning foregår for ét OSD område af gangen og forløber efter flg. proces:

- 1. Dataworkshop:** Her gennemgås datagrundlaget kildeplads for kildeplads og der opnås konsensus om hvilke parametre, der skal anvendes og deres usikkerhed. Såfremt der er åbenlyse "datahuller" aftales det hvilke supplerende undersøgelser, der skal iværksættes. Herefter udføres disse og det endelige datagrundlag udarbejdes og godkendes.
- 2. Tilpasning af eksisterende model og BNBO beregning.** I områder hvor der er en eksisterende grundvandsmodel sammenholdes de lokalt fundne forhold med den konceptuelle beskrivelse i modellen og denne tilrettes.
- 3. Beregning af BNBO vha. en semi-analytisk model.** Der opstilles en simpel semi-analytisk model på baggrund af de lokalt fundne parametre. Denne fremgangsmåde giver et godt bud på BNBO arealet, mens de eksisterende modeller giver et godt bud på BNBO formen.
- 4. Vurderinger af det endelige BNBO og usikkerhed på størrelse, retning og form.** De to bud på BNBO sammenholdes og usikkerheden vurderes.
- 5. Rapportering.** Beskrivelse, data, antagelser m.m. samles i én rapport pr. kildeplads. I afrapporteringen laves endvidere en sårbarhedsvurdering inden for BNBO.

Den anvendte fremgangsmåde sikrer en optimal vidensudveksling mellem rådgiver og kommune. Under workshoppen overdrages uundværlig viden om de enkelte kildepladser fra kommune til rådgiver og samtidig opnår kommunen en dyb indsigt i de hydrogeologiske forhold på kildepladserne. Selve arbejdsprocessen opleves som værende særdeles effektiv. Den grundige datagennemgang (-opretning) og den efterfølgende BNBO udpegning ved forskellige metoder sikrer meget robuste resultater.

## **BORINGSNÆRE BESKYTTELSESOMRÅDER I AARHUS KOMMUNE**

Civilingeniør Niels Cajus Pedersen  
Aarhus Kommune  
ncp@aarhus.dk

I Aarhus Kommune er det besluttet af Byrådet, at der skal udlægges Boringsnære Beskyttelsesområder for at opnå en bedre beskyttelse af de ca. 170 indvindingsboringer, som er tilknyttet de almene vandforsyninger.

For at bruge en ensartet metode i hele kommunen er det valgt at beregne udstrækningen af BNBO efter den analytiske metode, som er beskrevet i BNBO-vejledningen. Det er desuden valgt, at alle områderne beregnes med en cirkulær udformning. Radius for de beregnede BNBO er især afhængig af de hydrogeologiske forhold og indvindingsmængden fra den enkelte boring, og de beregnede radier varierer mellem ca. 10 meter og ca. 220 meter. De årlige indvindingsmængder i boringerne varierer mellem ca. 8.000 og ca. 500.000 m<sup>3</sup>/år.

Implementeringen af BNBO vil følge indsatsplanlægningen i Aarhus Kommune. I løbet af perioden 2012-2017 vil der blive udarbejdet nye indsatsplaner for 10 indsatsområder samtidig med, at de nuværende 7 indsatsplaner vil blive revideret. I forbindelse med indsatsplanlægningen vil det for hver enkelt BNBO blive undersøgt, hvilke forureningskilder der er i området, hvilken risiko de indebærer for forurening af anlæggene, og hvilke konsekvenser en forurening vil have for boringen og vandforsyningen i øvrigt.

Aarhus Kommune har i forbindelse med forarbejdet til 4 nye indsatsplaner kortlagt de potentielle forureningskilder til i alt ca. 40 indvindingsboringer tilknyttet almene vandforsyninger. Boringerne er hovedsageligt placeret i det åbne land, men 1/4 del ligger i eller tæt ved mindre byer med op til ca. 4000 indbyggere. Der er fundet en række mulige forureningskilder ved brug af GIS-kort, ortofotos og gennemgang af sagsarkiver. Den endelige risikovurdering er ikke afsluttet, men de identificerede potentielle forureningskilder omfatter især spildevandsledninger og pumpestationer, regnvandsbassiner, olietanke, brug og oplag af pesticider, drænledninger, jordforureninger, parkeringspladser og veje.

I de kommende indsatsplaner foreslås det, at vandforsyningerne senest 2 år efter indsatsplanens vedtagelse skal have forsøgt at indgå frivillig aftale om ophør af de forureningskilder, der vurderes at kunne udgøre en væsentlig risiko for forurening af boringerne. Herefter vil kommunen meddele påbud om ophør efter Miljøbeskyttelseslovens § 24. I Aarhus Kommune har sammenslutningen af almene vandværker (Vandplanudvalget, VPU) afsat midler til opfølgningen på BNBO. Vandværkerne opkræver således 8 øre pr. m<sup>3</sup> vand til implementering af BNBO, herunder til indgåelse af dyrkningsaftaler.



## PILOTPROJEKT MED OPTIMERING AF PASSIV VENTILATION TIL SIKRING AF INDEKLIMA

Specialist Tage V. Bote  
COWI A/S  
tvb@cowi.dk

### Baggrund

På en tidligere sæbefabrik og renseri udgør en jord- og grundvandsforurening med PCE en risiko for indeklimaet i et bygningskompleks bestående af 26 ejerlejligheder. Lokaliteten er 5.000 m<sup>2</sup> stor og detaljerede undersøgelser af jord, grundvand og poreluft har ikke afdækket deciderede hotspots i jord og grundvand, der kan bortgraves eller behandles for at sikre indeklimaet i lejlighederne. Undersøgelser har vist, at forureningsspredning gennem betongulve og gennem eksisterende kloakker er de primære årsager til forureningen i indeklimaet.

COWI gennemfører pt. et pilotprojekt for Region Syddanmark for at undersøge, om passiv ventilation ved hjælp af vindhætte kan sikre indeklimaet i bygningen. Tidligere erfaringer på mange lokaliteter har vist, at det er vanskeligt at skabe en ensartet og robust ventilation, og sikring af indeklimaet med passiv ventilation kan være en stor udfordring.

### Metode

Pilotprojektet gennemføres under to lejligheder. Detailprojekteringen af projektet har omfattet modellering af det forventede modtryk med hensyn til tre forskellige design af ventilations systemer. Placering af ventilationsdrænen og forskellige materialer er blevet evalueret for at vælge et optimalt design af ventilationssystemet. Også baseline målinger på en vindhætte er blevet udført for at opnå data til evaluering af ydeevnen af systemet.

For at sikre, at der ikke spredes forurening gennem eksisterende kloakker er alle kloakker på ejendommen erstattet med rustfri stålør og alle samlebrønde er blevet coated indvendig, for at minimere indtrængning af PCE ind i kloakkerne.

Indledningsvist er lejlighederne blevet rømmet, herunder er alle indvendige vægge blevet fjernet. Betongulvet er blevet fjernet og 0,5 m jord er blevet afgravet og erstattet med et permeabelt lag af singles og et lag isolering. Ventilationsdrænene er blevet installeret i det permeable lag og et nyt armeret betongulv er etableret oven på en diffusionshæmmende membran. Ventilationsdrænene er installeret i et "fiskebens" mønster for at sikre en ensartet ventilation. For at dokumentere driften af systemet er der gennemført ventilationstest og effekten af afværger dokumenteres løbende med målinger i indeklima og poreluft.

### Resultater/konklusioner

Installationen af systemet er afsluttet og kontrollen påbegyndt. Resultaterne viser, at der er et lavt modtryk i systemet, og vindhætten leverer et tilstrækkeligt luftskifte i det permeable lag.

Indeklimamålinger viser at forureningsniveauet er nedbragt væsentligt i de to lejligheder. I den ene lejlighed er forureningsniveauet langt under afdampningskriterierne og i den anden lejlighed er forureningsindholdet reduceret med en faktor 3 til to gange over afdampningskriteriet.

## **INDEKLIMA SIKRING I PRAKSIS - LÆRING OG OPTIMERING AF PASSIV VENTILATIONSØSNING**

Civilingeniør Arne Rokkjær, civilingeniør Mariam Wahid, Region Hovedstaden, Koncern Miljø  
rok@regionh.dk & mw@regionh.dk

Region Hovedstaden igangsatte i 2011 sikring af indeklimaet på to ejendomme i Hvidovre. På begge ejendomme er der i indeklimaet konstateret en mindre overskridelse af Miljøstyrelsens afdampningskriterium for TCE, med en faktor ca. 5. Under gulv blev der påvist et indhold af TCE på op til ca. 10 mg/m<sup>3</sup>.

Med baggrund i de relativt beskedne overskridelser af afdampningskriteriet blev det i skitseprojektet vurderet, at passiv ventilation under gulv ville være tilstrækkelig til at sikre indeklimaet i de to ejendomme. Afklarende undersøgelser, som led i detailprojektet, viste at der ikke eksisterede et ventilerbart lag under det eksisterende betongulv. Det var derfor nødvendigt at etablere en ny gulvkonstruktion, med et permeabel singleslag, til brug for passiv ventilation via drænrørsystem. Der blev endvidere etableret en luft- og gastæt membran over ventilationslaget, med henblik på bl.a. at kunne styre flowet i ventilationslaget.

Formålet med projekterne har været at sikre beboernes indeklima i forhold til afdampning fra forureningen i den underliggende jord.

Som led i gennemførelsen af projektet blev der løbende gennemført tekniske forbedringer, set i forhold til grundlaget i såvel skitse- som detailprojektet. Forbedringerne omfattede bl.a.:

- et passivt ventilationssystem, opdelt i sektioner, så en eventuel aktiv ventilering kan målrettes den enkelte sektion,
- indvendige lette vægge er fjernet i stedet for at understøbe disse. Det har givet mulighed for en sammenhængende membran, frem for flere membraner adskilt af indvendige fundamenter/vægge. Den totale længde af samlinger mellem membran og fundament reduceres hermed, hvilket mindsker risikoen for lækager via indvendige vægge og samlinger,
- når der ikke bruges understøbning, undgås en u hensigtsmæssig opdeling af ventilationslaget i mindre celler, med risiko for mindre tilfredsstillende ventilering.
- indvendige vægge bør i størst mulig omfang fjernes, så ovenstående gevinster opnås. Erfaringerne viser, at dette er mere eller mindre udgiftsneutralt for projektet,
- indeklimasikringen skal fungere i en meget lang årrække, hvorfor det er vigtigt, at den almindelige vedligeholdelse af installationer kan gennemføres uden at ødelægge indeklimasikringen. Dette er bl.a. forsøgt sikret gennem etablering af dobbelte rørsystemer (rør i rør) og så få gennembrydninger af membran og beton som muligt,
- der er etableret en lang række luft målepunkter i ventilationslaget med henblik på monitorering af effekten af indsatsen. Resultaterne fra målepunkterne vil efterfølgende kunne benyttes i forbindelse med tilrettelæggelsen af en eventuel overgang til aktiv ventilation på en del af anlægget.

I forhold til grundejeren viser de praktiske / administrative erfaringer, at det er vigtigt så tidligt som muligt i forløbet (under projekteringen) at afstemme forventningerne til det færdige resultat. Udgangspunktet er naturligvis, at ændringerne ikke må medføre merudgift for regionen. Men omvendt er det en enestående chance for grundejeren til at gentænke ejendommens fysiske indretning, fra badeværelse og køkken samt ændret rum opdeling. Desværre er erfaringen, at grundejeren typisk først ser mulighederne når reetableringen er i fuld gang, hvilket fordyrer omkostningerne for grundejeren ligesom alle ønsker ikke altid kan imødekommes. Til dokumentation af, om gennemførelsen af afværgeprojekterne ville give anledning til skader på de berørte ejendomme, blev der i anlægsperioden foretaget måling af temperatur og luftfugtighed, såvel indvendig som udvendigt. Desuden er begge ejendomme blevet forsynet med nivellementsbolte, til brug for præcisionsnivelement før start og efter afslutning af anlægsarbejdet, med det formål at fastslå eventuelle sætningssskader.

## INDEKLIMASIKRING VED VENTILLERET HULRUM

Martin Stærmose, Christian Fabricius, Region Sjælland  
Pernille Kjærsgaard, Kresten Andersen, Thomas Hauerberg Larsen, Orbicon A/S  
thla@orbicon.dk, pkja@orbicon.dk

Region Sjælland har på ejendommen Rudsgade 24 i Ruds Vedby ønsket en boligejendom sikret mod underliggende forurening indeholdende chlorerede opløsningsmidler. For at lave langtidsholdbare og driftsøkonomisk billige sikringer af indeklima, ønsker Regionen, at der så vidt muligt etableres passive indeklimaløsninger. Løsningen er ligeledes gennemført på Hovedgaden 69 i Dalmose for Oliebranchens Miljøpulje. Begge ejendomme er benyttet som bolig.

På begge ejendomme er ønsket om at identificere spredningsveje for forureningen prioriteret højt. Der er derfor foretaget en byggeteknisk gennemgang af ejendommene med henblik på at identificere spredningsveje og fastlagt opbygning af gulvkonstruktion og vægkonstruktioner. På tidligere sager er der ved Blower-door test i kombination med termografering og screening med f.eks. ppb-rae for opsporing af indtrængningspunkter fra terrændæk til indeklimaet konstateret, at forureningen kan spredes langs trækrør til elinstallationer, rørgennemføringer og sprækker i gulve. For at hindre, at der fra den efterladte restforurening uden for beboelsen, fremover kan ske en spredning af forurening til indeklimaet i beboelsen via utætheder i fundamenter og ved rørgennemføringer er alle konstaterede revner og gennemføringer tætnet med beton eller fugemasse. Hulmuren er åbnet ved at fjerne mursten og ved håndkraft er hulrum oprenset. Herefter er hulrummet forseglet mod fundamentet med selvnivellerende spartelmasse. Fundamenter er indvendigt blevet blotlagt og svummet 3 gange så de er tætte. 1. gulvkonstruktion er støbt. Der er udført fuge mellem væg og nystøbt gulv. For at øge luftskiftet laves en "kunstig krybekælder" ved at etablere en dobbeltkonstruktion med 2 armerede gulve med luftrum imellem. I hver ende af den kunstige krybekælder er der etableret riste (Rudsgade) eller svanehalse (Hovedgade). Arealet af ristene/svanehalsene er beregnet, så luftskiftet bliver 3 x forøget.

Den kunstige krybekælder etableres med et genbrugsprodukt lavet af genbrugsplast kaldet Cupolex®. Efter lægning af Cupolex, isolering og lægning af R.A.C.membran med indbygget armering er der tætnet mellem væg og membran med fugemasse og klemplister for at skabe så tæt en gulvkonstruktion som muligt. Derefter er 2. gulv udstøbt og gulvbelægninger lagt.

På Hovedgaden 69 er der i under gulvet målt et indhold af benzen på op til 93.000 µg/m³. Der er i hulrummet udført målinger efter etablering af afværgeforanstaltningerne og fundet indhold af benzen på max 11 µg/m³. Forureningen er dermed dæmpet til et niveau, hvor der i indeklimaet ikke vil blive målt indhold af benzen, hvis der regnes med en dæmpningsfaktor på 100 over det sidste betongulv.

På Rudsgade er der under gulv målt tetrachlorethylen på mellem 1700 og 140.000 µg/m³. Der var udlagt gulv direkte på træstrøer. Der var derfor ikke væsentlig dæmpning i gulvet før afværger blev igangsat. Der er ophængt ORSA-rør i boligen og der er efterfølgende målt tetrachlorethylen på max 32 µg/m³. Det er en væsentlig dæmpning, men det vurderes, at der fortsat er forurening i bygningsmaterialerne, som kan afgive forurening til indeklimaet. Ligeledes er en væsentlig del af forureningen fjernet. Afdampning fra forureningen i den umættede zone vil derfor være væsentlig nedbragt.





## RESULTAT AF REGION SYDDANMARKS INDSATS OVER FOR JORDFORURENING PÅ BØRNEINSTITUTIONER

Civilingeniør Kristian Dragsbæk Raun  
Region Syddanmark  
kristian.raun@regionsyddanmark.dk

I 2008 igangsatte Region Syddanmark en særlig indsats overfor jordforurening på børneinstitutioner. Strategien var at screene alle børneinstitutioner beliggende i byområder fra før ca. 1940, eller inden for 200 meter fra en kendt aktivitet eller virksomhed, der kan være kilde til diffus forurening. Indsatsen har primært været rettet mod den jyske del af regionen, da Fyns Amts børneinstitutioner allerede var screenet.

Selve screeningerne er foregået ved at inddele børnehaverne i felter på ca. 200 m<sup>2</sup>. I felterne er der udtaget jordprøver fra 0,1 og 0,4 m u.t., som er analyseret for tjærestoffer og tungmetaller. Stofferne er valgt, da det primært er dem, der ses ved diffuse forureninger. Undersøgelserne er justeret, hvis der f.eks. er oplysninger om at olietanke, lossepladser, renserier eller lignende har ligget i nærheden af børneinstitutionen.

Indsatsen er nu afsluttet og det har resulteret i, at der er undersøgt i alt 171 institutioner i regionen. Ud af de 171 institutioner var 138 rene, 22 var lettere forurenet og 11 institutioner var forurenet svarende til over afskæringskriteriet. På 6 institutioner er der udført en afværgeindsats og på 5 institutioner er det vurderet at en dybereliggende forurening ikke udgør en risiko. Samlet set betyder det, at ca. 80 % af institutionerne var rene og at en individuel vurdering/indsats var nødvendig på de resterende 20 %. Samlet set har regionen brugt ca. 8,5 mio. kr. på de 171 institutioner.

Indsatsen er udført i tæt dialog med både kommuner, børneinstitutioner, forældre og embedslægen. Der har været en høj grad af information og opfølgning omkring regionens indsats bl.a. via mediedækning i form af pressemeddelelser, artikler i diverse aviser og tv-reportager. I alt har der været 76 artikler, indslag mm.

Ved starten af hver enkelt undersøgelse har vi med stor succes afholdt møde med institutionen og udleveret informationsmateriale. Ved afslutningen af undersøgelserne har institutionerne fået et informationsark til opslagstavlen eller til udlevering til forældrene. Informationsarkene har gjort, at forældre og personale har følt sig godt orienteret om resultaterne. På regionens hjemmeside linkes der direkte op til disse informationsark.

På 6 institutioner var det nødvendigt at udføre en afværgeindsats, for det meste som en afskæringsløsning. Selve afværgeindsatsen har tit givet udfordringer i og med at institutionerne stadig var i brug, men det er blevet løst undervejs, ofte direkte mellem entreprenør og institution. Udover afskæringsløsningen er der også installeret gasalarmer på to institutioner, pga. gasudvikling fra underliggende lossepladser.

## EDD - RÅDGIVEREN MED SKÆG OG BLÅ BRILLER

Geolog, chefkonsulent. Søren Nielsen  
Rambøll  
sn@ramboll.dk

Environmental Due Diligence (EDD) udføres i forbindelse med køb og salg af virksomheder som en del af forhandlingsgrundlaget for fastsættelse af handelsprisen.

Afklaring af jord- og grundvandsforureningsforholdene indgår i Due Diligence sager på lige fod med mange andre aspekter, f.eks. skat, forsikringer og juridiske selskabsforhold og har direkte indflydelse på virksomhedens købs-/salgspris. Det sætter jord- og grundvandsforureningen i perspektiv. Forståelsen af helhedsperspektivet og kundens behov er i særdeleshed i centrum.

EDD-arbejdet udføres generelt i overensstemmelse med internationale standarder, især de amerikanske ASTM-standarder, der opdeler EDD-undersøgelsen i 3 faser. Fase I udgøres af vurderinger af foreliggende oplysninger og besøg på virksomheden mm. Fase II udgøres af feltundersøgelser, og Fase III omfatter afværgeforanstaltninger/oprensning. Ofte er det kun Fase I, der gennemføres. Undersøgelsen tilpasses selvfølgelig kundens ønsker. EDD Fase I omfatter

- undersøgelse af grundens historiske og nuværende anvendelse
- interview af relevant personale
- inspektion af virksomheden/ejendommen
- vurdering af evt. udførte forureningsundersøgelser
- risikovurdering
- vurdering af de planmæssige bindinger for den fremtidige drift eller brug af virksomheden/grunden
- vurdering af omkostninger til afværge af mulige eller konstaterede jord- og grundvandsforureninger.

Processen i EDD-sager gennemgås, herunder hvordan der i løbet af meget kort tid indhentes tilstrækkelige oplysninger til EDD-vurderinger, og hvordan der udarbejdes et relevant omkostningsoverslag for undersøgelser og oprensning. Resultaterne skal meddeles i en let forståelig og overskuelig rapport, hvor alle usikkerheder ved vurdering af omkostninger relateret til jord- og grundvandsforurening fremgår præcist.

Og endelig, hvordan overlever rådgiveren efter mange dages arbejde med kun lidt søvn og et konstant pres om at levere resultater?

I EDD-sager arbejder rådgiveren som Djævlens advokat. Det handler om at stille de rette spørgsmål til de rette mennesker på de rigtige tidspunkter. Det handler også om at spørge uden at kunne fortælle, hvad svaret skal bruges til, og om at kunne se alt, selv det usynlige.

Rådgivning med skæg og blå briller er strabadserende og presset, men at agere som Djævlens advokat og grave usikkerheder frem og bagefter tage helikopterblikket på for at bidrage til fastsættelse af købs-/salgspris er et skægt og relationsskabende arbejde.

## DANMARKS STØRSTE FRIVILLIGE OPRENSNING - DONG ENERGYS TRANSFORMERSTATIONER

Projektchef John U. Bastrup, GEO, jub@geo.dk  
Projektleder Tina Damgaard, GEO, tda@geo.dk

I gennem flere årtier frem til 1988 har DONG Energy anvendt chlorerede opløsningsmidler til rengøring af deres hovedtransformer. Brugen af chlorerede opløsningsmidler har forårsaget en række større og mindre jord og grundvandsforureninger på en del af DONG Energys hovedtransformerstationer. Som en konsekvens heraf har DONG Energy besluttet, at udføre Danmarks største frivillige oprensning på alle hoved-transformerstationer, hvor der er risiko for grundvandsressourcen. Med denne beslutning har DONG Energy i samarbejde med GEO været med til at videreudvikle og afprøve forskellige afværgemetoder under vanskelige lokalitetsforhold. Formålet med oprensningerne har været at fjerne risikoen for en utilsigtet påvirkning af grundvandsressourcen. I indlægget præsenteres udvalg af det meget stort erfaringsgrundslag fra undersøgelser, prioriteringer og oprensninger på vanskeligt fremkommelige lokaliteter. Herudover gennemgås og diskuteres samspillet med kommunerne, der har ansvaret for de frivillige oprensninger.

54 transformerstationer er undersøgt. Heraf blev 40 stationer afsluttet efter risikovurdering og evt. monitoring, mens 14 stationer blev prioriteret til oprensning med 25 lokale oprensninger for kilde og fane i forskellige faser. På nuværende tidspunkt er 16 oprensninger afsluttet, mens 7 er igangsat, mens 2 oprensninger er i projekteringsfasen. Chlorerede opløsningsmidler er den primære forureningskomponent. Men der er på mange af stationerne også påvist forureninger med kulbrinter og BAM og i mindre grad PCB. Der er benyttet oprensningsmetoderne vist i skemaet herunder:

Oprensningsmetoder	Udført	I gang	Projekteret / planlagt
Bortgravning og trafo-renovering, ex site	6	1	
Bortgravning og trafo-renovering, on site	3		
Afværgepumpning, P&T	1		
To phase High vacuum extraction, TPE	2	1	
Bioslurping		1	
Soil vapor extraction, SVE	2		
Stimuleret reduktiv dechlorering, SRD		3	1
Kemisk oxidation, ISCO		1	
Stimuleret nedbrydning, olie			1
Airsparging, IAS	1		
Passiv ventilation	1		

En stor udfordring ved undersøgelser og afværgetiltag har været de fysiske forhold med arbejde i højspændingsfelter og et hav af ledning og kabler i jorden og luften. Prioriteringen af afværgetiltagene er sket ud fra en vurdering af, hvilke forureninger der var mest kritiske i forhold til grundvandsressourcen. Miljøprojektet skulle være afsluttet i 2012, men bl. a. pga. udfordringer med tilladelser til in situ metoder forventer vi projektet afsluttet i 2014. Hertil kommer problemerne med at fastsætte realistiske stopkriterier for de enkelte oprensninger. Når vi er færdige med oprensningerne, vil risikoen for grundvandsressourcen som følge af de tidligere aktiviteter på NESA/DONG Energy transformerstationer være fjernet.



## **ERFARINGER MED VILLAOLIETANKVEJLEDNINGEN - STYRKER OG SVAGHEDER**

Sektionsleder Jacob Heggelund Christiansen  
COWI A/S  
jach@cowi.dk

Siden 2000 er der undersøgt og oprenset mere end 1.600 oliespild fra private fyringsolietanke i Danmark. Sagerne hører under §48 i jordforureningsloven.

Arbejdet er udført under oliebranchens villatankordning i samarbejde med Topdanmark. Antallet af sager har stabiliseret sig omkring ca. 75 nye sager hvert år.

De seneste par år er området blevet reguleret af Miljøstyrelsens vejledning nr. 2, 2009, den såkaldte villatankvejledning. Villatankvejledningen er et supplement til de gængse MST-vejledninger nr. 6, 7, 11 og 13/1998, som beskriver den offentligt finansierede indsats på oliesager og en lang række andre forureningssager.

Formålet med en specifik vejledning for villatanksager har været at bringe klarhed over regelgrundlaget og lette sagsbehandlingen gennem afstemning af forventningerne til undersøgelse og oprensning. Som konsekvens blev forventet mere effektive sagsforløb, som dermed bliver hurtigere og billigere, men med uændret oprensningsomfang.

Indlægget gør rede for den historiske udvikling før og efter vejledningen, som samlet set - efter 2 år - vurderes at have den ønskede effekt.

Der gennemgås konkrete eksempler på vejledningens regler, herunder regler for påbud, dokumentation af restforurening og bagatelforurening samt regler for vurdering af proportionalitet og hvornår forurening skal efterlades.

Blandt de emner, der fortsat kan give anledning til fortolkning og uenighed kan nævnes:

- Kvalitetskriterier i sekundære/primære magasiner og anvendelse af JAGG trin 1.
- Brug af erfaringsopsamlingerne for poreluft og grundvandsfaner.
- Retningslinjer for kommunernes vurdering af proportionalitet.
- Bagatelgrænsen på 10 kg restforurening.

Endelig gives der eksempler på hvordan de vanskelige emner håndteres i det daglige arbejde med villasagerne.

Ønsker for vejledningens fremtid - set fra forfatterens synsvinkel som praktisk daglig bruger - omfatter bedre samarbejde mellem myndighederne indbyrdes, øget fokus på bæredygtighed i afvejningen af proportionalitet, samt øget tillid til de omfattende erfaringer, som er opnået gennem mange års arbejde med området.

## **LÆKAGE PÅ ULOVLIG OLJETANK; MYNDIGHEDSFORLØBET, NØDVENDIGE SELVHJÆPSSHANDLINGER OG VEJEN TIL EN SOLID RISIKOVURDERING**

Miljøbiolog Susanne Prior Drønen, Fredensborg kommune  
Civilingeniør Majbrith Langeland, Grontmij A/S, mls@grontmij.dk

Fredensborg kommune har efter anmeldelse af lugtgener igangsat undersøgelser ved en nedgravet ulovlig utæt olietank på en ejendom på i et villakvarter i Humlebæk. Den utætte olietank har som følge af de geologiske og hydrogeologiske forhold i området medført en olieforurening, der har spredt sig vertikalt til ca. 6 m u.t. til sandslirer i moræneleren. Efter omfattende undersøgelser er det påvist, at olieforureningen har spredt sig horisontalt og påvirker 4 boliger i området.

Supplerende undersøgelser har ved anvendelse af sporgas, byggeteknisk gennemgang ved anvendelse af ppb-rae, georader og søgegravninger afdækket et større antal fordybninger i den intakte morænelersoverflade samt en tidligere kloak, som er en væsentlig årsag til spredning af forureningen i området. Omfanget af undersøgelser er fastlagt for at sikre, at risikovurderingen for den enkelte bolig er solid og i nødvendig omfang også vil være holdbar ved særlige forhold som f.eks. ved ændring i vejforhold, ændret anvendelse af boligerne og ved eventuelt yderligere spredning af den påviste fri fase olie.

Fredensborg kommune har været udfordret af en række forhold da olietanken var ulovlig, og forureneren derfor ikke var omfattet af forsikringsordningen. Da forureneren ikke havde økonomisk mulighed for at efterkomme kommunens undersøgelsespåbud, har kommunen iværksat undersøgelserne som selvhjælpshandlinger med talepåbud til naboerne. Desuden er kommunen interesseret i nærværende vandværksboringer etc. Endvidere er undersøgelserne udført af to rådgivere.

DGE har forestået undersøgelser i jord, poreluft og grundvand, dokumentation af fri fase og detaljeret kortlægning af geologiske vinduer og anlæg i jorden. DGE har endvidere foretaget indledende undersøgelser af indeklimaet og spredning via eksisterende kloakker. Grontmij har forestået detaljerede undersøgelser i indeklima, supplerende undersøgelse af eksisterende kloakker, sporgasundersøgelser for vurdering af aktive spredningsveje og sammenfattede risikovurdering for de 4 boliger i området. Baseret på de detaljerede undersøgelser er risikovurderingen og dermed afværgemuligheder for hver af de 4 boliger blevet meget forskellig og med meget forskellig målsætning. En væsentlig målsætning har været at risikovurderingen også skulle omfatte lejlighedsvis lugt af diesel i boligerne. Der er endvidere igangsat udarbejdelse af afværgeprogram, med henblik på at gennemføre afværgeforanstaltninger i sommeren 2012.

Præsentationen belyser de gordiske knuder som Fredensborg kommune har skullet løse undervejs i projektet baseret på: Selvhjælpshandlinger og talepåbud (vurderinger af kommunens forpligtelser kontra rettigheder jf. Jordforureningslovens §68 stk. 1 og 2) - Hvornår har kommunen gjort nok? Og hvornår kan sagen overgives til regionen? - Økonomiske udfordringer for kommuner, hvor forsikringsordningen ikke dækker – hul i lovgivningen (uskyldige naboer bøder for manglende forsikringsdækning)? - Samarbejdet med boligejerne, politikerne og regionen - De faktiske udførte undersøgelser og valget af metoder for at opnå tilstrækkelig dokumentation for de faktiske forhold på lokaliteterne - Fastlæggelse af værdimålsætningerne for risikovurderingerne for de enkelte boliger således at disse bliver solide og tilstrækkelige, herunder inddragelse af differenstrøkmålinger og sporgasmålinger for at identificere aktive spredningsveje - Fastlæggelse af afværgemuligheder og gennemførelse af disse ved samarbejde med de 4 boligejere.

## **KULBRINTER I INDEKLIMAET – KOMMER DE FRA OLIEFORURENING ELLER INDBO, RYGNING ELLER ANDET?**

Civilingeniør Dorte Harrekilde  
Rambøll  
doh@ramboll.dk

På grunde med olieforurening i jord og grundvand er det ofte svært at vurdere den reelle indeklimalisiko fra forureningen under huset, fordi indbo, byggematerialer og rygning også bidrager med kulbrinter til indeklimaet. Ligesom det ofte er vanskeligt at afgøre, hvorfra en bestemt lugt i indeluften stammer fra.

I indlægget gives et bud på, hvordan vi kan afklare kulbrinternes oprindelse i indeluften, således at vi kan træffe det rigtige valg om evt. afværge.

Resultater fra 6 cases præsenteres. I 5 af sagerne er der tale om olieforureninger, der er udbredt i jorden under huse, og som muligvis kan medføre et indeklimaproblem. I nogle af sagerne er der udført monitoring af indeluftens kulbrinteindhold igennem en årrække. I en enkelt sag er der tale om en dårlig lugt, som er mistænkt at skyldes enten en gammel jordforurening med olie eller en vandskade.

Indeklimamålingerne er udført ved passiv opsamling på ATD-rør over 14 dage. Analyse er udført ved traditionel GC-MS for indhold af total kulbrinter og BTEX. Desuden er der gennemført en udvidet GC-screening for kvalificering og kvantificering af prøvernes indhold af kulbrinter.

I samtlige prøver er der udover petrogene kulbrinter også påvist væsentlige indhold af kulbrinter, der ikke stammer fra olie.

Første trin i vurdering af analyseresultaterne er at adskille petrogene kulbrinter fra kulbrinter, der ikke kan stamme fra olie. Dernæst søges de ikke-petrogene kulbrinter grupperet efter deres oprindelse, dvs. om de stammer fra rygning, maledede overflader, forbrugerprodukter mm. Til sidst undersøges om produkter, der indeholder ikke-petrogene kulbrinter, også indeholder petrogene kulbrinter, og i givet fald om der findes undersøgelser, der godtgør hvor meget der kan dampe af fra produkterne til indeluften af de forskellige kulbrinter.

Resultaterne sammenholdes med historisk viden om forureningen samt med resultaterne af jord- og grundvandsundersøgelsen. På denne baggrund vurderes, om jord- og grundvandsforureningen bidrager til et indhold af kulbrinter i indeluften over afdampningskriterierne. I nogle af tilfældene er desuden vurderet, om de ikke-petrogene kulbrinter findes i indeluften i koncentrationer, der kan udgøre en sundhedsmæssig risiko.

Den udvidede analyse af indeluftprøverne er absolut en god og forholdsvis billig måde at finde kulbrinternes oprindelse på, og gør os i stand til at træffe en mere robust beslutning om evt. afværgetiltag overfor indeluften.





## **JORDFORURENING OG KLIMAÆNDRINGER – HØRLØKKE LOSSEPLADS, VOJENS**

Civilingeniør, ph.d. Jørn K. Pedersen, Region Syddanmark  
joern.k.pedersen@regionsyddanmark.dk

Hørløkke Losseplads er beliggende på en hedeslette vest for Vojens. Under lossepladsen findes et grundvandsmagasin bestående af 15-20 m smeltevandssand og 60-80 m miocæn kvartssand. Lossepladsen ligger i et område med særlige drikkevandsinteresser og i indvindingsoplandet til Vojens Vandforsyning. Udvaskning fra lossepladsen har medført en 500 m lang forureningsfane med chlorerede opløsningsmidler, som strømmer mod vest. 180 m nedstrøms lossepladsen er der 43-55 m under terræn fundet koncentrationer på mere end 4000 µg/l (sum af chlorerede komponenter) svarende til en flux på minimum 100 kg/år. Et bredt spektrum af moderstoffer, primært 1,1,1-trichlorethan, og nedbrydningsprodukter er påvist, hvilket antyder en betydelig naturlig nedbrydning i grundvandsmagasinet.

I forbindelse med det EU-finansierede CLIWAT-projekt er der opstillet en model med henblik på at undersøge, hvordan udvaskningen fra lossepladsen og udstrækningen af forureningsfanen ændres i to fremtidige klimascenarier. Samtidig belyses, hvordan klimascenarierne påvirker grundvandsspejlet og beliggenheden af et grundvandsskel øst for lossepladsen.

En semi-regional geologisk model opstillet i MikeGeoModel med udgangspunkt i mere end 1000 boreprofiler fra Jupiter-databasen samt geofysiske data fra bl.a. SKY-TEM og helikopter EM danner grundlaget for en 3D dynamisk model opstillet i HydroGeoSphere, som omfatter de relevante strømnings-, transport- og nedbrydningsprocesser. I fokusområdet tæt på lossepladsen er anvendt en diskretisering på 10 m, medens der i større afstand anvendes en diskretisering på 100 m. I alt omfatter modellen 32 lag, 693160 noder og 1330980 elementer. Modellen er kalibreret i forhold til observerede grundvandsspejl og stofkoncentrationer i forureningsfanen over perioden 1980-2010, medens klimascenarie-beregningerne er udført for perioden 2040-2100.

Modelberegningerne viser som forventet, at udvaskningen fra lossepladsen øges, og at grundvandsspejlet stiger i et fremtidigt klima med forøget vinternedbør. Derimod giver den øgede udvaskning ikke som forventet anledning til en ekspansion af forureningsfanen. En bæk tæt ved lossepladsen viser sig at fungere som dræn for grundvandsmagasinet i en væsentlig større del af året end nu. Den overraskende effekt af den forøgede dræning er, at en betydelig del af den dybtliggende forureningsfane vil blive 'trukket' op i vandløbet af grundvandsstrømningen, og fanen vil derfor blive fikseret under bækken. Samtidig vil udstrækningen af fanen blive reduceret på grund af den forøgede grundvandsdræning. Modellen viser endvidere, at den tidlige variation i grundvandsdannelsen medfører ændringer i grundvandsstrømningen mod vandløbet, således at forureningsfanen får en tidlig varierende position. Endelig viser modellen, at grundvandsskellet flytter mod øst i tørre år med lav grundvandsstand, mens det i perioder med et højt grundvandsspejl rykker mod vest, sandsynligvis til en placering umiddelbart øst for lossepladsen.

Selv med de forholdsvis simple magasinforhold, som er gældende ved lossepladsen, har en model været nødvendig for at belyse de hydrauliske forhold og mekanismer, som er styrende for forureningsspredningen i et fremtidigt klima med forøget vinternedbør.

## HANDLINGSPLAN FOR GRUNDVANDSINDSATSEN I REGION SJÆLLAND

Chefkonsulent Hanne Møller Jensen, Region Sjælland, hmjes@regionsjaelland.dk  
Civilingeniør Sandra Roost, Orbicon A/S, saro@orbicon.dk

Med det store antal forurenede grunde, der udgør en mulig grundvandstrussel i Region Sjælland, er der behov for en meget målrettet og klar prioritering af jordforureningsindsatsen. Et forsigtigt skøn er, at der resterer udgifter i størrelsesordenen 1 mia. kr. svarende til mere end 40 års indsats med de nuværende budgetter for området. Hvordan regionen overordnet prioriterer og planlægger opgaverne er beskrevet i "Strategi for jordforureningsområdet" fra 2007. Her er det fastlagt, at indsatsen for at sikre rent grundvand har højeste prioritet.

Grundvandsressourcen er under pres på hele Sjælland pga. stor indvinding og vandplanernes krav om en mindsket påvirkning af naturen på grund af indvindingen. Det er derfor vigtigt at oprensninger af jordforurening gennemføres så effektivt som muligt i forhold til de øvrige tiltag for grundvandsbeskyttelse.

På den baggrund har regionen i 2011 udarbejdet en "Strategisk handlingsplan for grundvandsindsatsen på jordforureningsområdet", der fastlægger principper for, hvordan grundvandsindsatsen mere konkret skal prioriteres i samarbejde med de øvrige myndigheder. Målet er, at Region Sjælland medvirker til at sikre en bæredygtig vandforsyning på langt sigt. Handlingsplanen kan hentes her:

<http://www.regionsjaelland.dk/publikationer/Sider/Handlingsplan-for-grundvandsindsatsen.aspx>

Der er udarbejdet en række GIS temaer, blandt andet med skøn over udgifter til jordforureningsindsatsen i forhold til den samlede drikkevandsindvinding indenfor hvert af de kortlægningsområder, som Naturstyrelsen arbejder efter i Region Sjælland. Der er desuden udarbejdet et GIS tema over sårbarheden vurderet ud fra den gennemsnitlige lertykkelse i DK-modellen. Temaerne er herefter vægtet, hvilket har resulteret i 5 prioriteringsgrupper, der svarer nogenlunde til 10 års indsats. Den vægtede prioritering skal ifølge handlingsplanen suppleres med plads til særlige hensyn. På grund af de særlige udfordringer for vandforsyninger i ø-områder har regionen derfor valgt at opprioritere Lolland og mindre øer.

Projektet har resulteret i en samlet prioritering af, i hvilken rækkefølge Region Sjælland vil gennemføre jordforureningsindsatsen i geografiske områder. Det væsentligste prioriteringsprincip er at få mest godt grundvand for pengene. Det betyder, at områder med stor drikkevandsindvinding og få forureninger prioriteres højere end områder med en mindre drikkevandsindvinding og mange forureninger.

Med handlingsplanen vil de nordøstlige dele af regionen få højest prioritet sammen med Lolland og en række andre øer. Ved den offentlige høring af handlingsplanen i efteråret 2011 gav kommunerne og vandforsyninger udtryk for stor velvilje til samarbejde, men også frustration over at indsatsen vil være så langvarig. Det bliver afgørende at få defineret, hvornår jordforureningsindsatsen er færdig i et område og at sikre det bedst mulige udbytte af data fra sårbarhedskortlægningen. Endelig har arbejdet med handlingsplanen vist, at der er behov for udvikling af risikovurderingsværktøjer på oplandsskala.

## **RISIKOKATEGORISERING OG FLUXBEREGNING AF PUNKTKILDER SOM EN DEL AF GRUNDVANDSKORTLÆGNINGEN**

Hydrolog, ph.d. Jens Asger Andersen  
Naturstyrelsen Roskilde  
jeaan@nst.dk

I kommunerne rundt om København er forurening med klorerede stoffer som regel en meget større trussel end nitrat. I Kortlægningsområde 'Mølleåen' pågår en stor indvinding på ca. 10 mill. m<sup>3</sup> om året fra 11 kildepladser, mens der afværges for klorerede stoffer fra lige så mange lokaliteter. Nitrat udgør ingen trussel. Med mere end 750 punktkilder i området er der behov for en risikokategorisering af disse samt en mere konkret viden om fluxen fra de værste.

I tæt samarbejde med Region Hovedstaden har Naturstyrelsen Roskilde derfor udviklet en metode til risikokategorisering af punktkilder til brug for grundvandskortlægningen. Herved er 146 af de godt 750 lokaliteter blevet klassificeret som såkaldte 'højrisiko' lokaliteter. I samarbejde med DTU og Orbicon er der udviklet en metode til flux beregning på disse 146 lokaliteter, som både beregner fluxen til øvre og nedre magasiner samt nedbrydning undervejs.

Flux resultaterne præsenteres som risikovurderinger i oplandene til hver af de 11 kildepladser. For hver kildeplads vurderes om den samlede flux fra alle punktkilder i oplandet vil blive en trussel, dvs. om drikkevandskriteriet vil blive overskredet i nær eller fjern fremtid. Usikkerheden på flux resultaterne er desuden et centralt resultat, som vil blive præsenteret.

Den samlede risikovurdering på oplandene vil indgå som et meget vigtigt element i de indsatsplaner, de 6 kommuner i området skal implementere.

Det er derfor vigtigt med en fælles forståelse for metoden mellem Naturstyrelse, Region og kommuner.



# **IN SITU STIMULERET REDUKTIV DECHLORERING AF TCE I MORÆNELER. INDSIGT FRA 4 ÅRS FULDSKALA SRD PÅ 2 LOKALITETER**

Mette M. Broholm<sup>1</sup>, DTU Miljø, mibr@env.dtu.dk.  
Ida Damgaard<sup>1</sup>, Julie C.C. Chambon<sup>1</sup>, Dorte M. Pade<sup>1</sup>, Gabriel Manoli<sup>1</sup>, Camilla Christiansen<sup>1</sup>, Phillip J. Binning<sup>1</sup>, Aikaterini Tsitonaki<sup>2</sup>, Claus Westergaard<sup>2</sup>, Henriette Kern Jespersen<sup>3</sup>, Mette Christophersen<sup>4</sup>, Jan Petersen<sup>4</sup>, Poul Løgstrup Bjerg<sup>1</sup>, <sup>1</sup>DTU Miljø; <sup>2</sup>Orbicon; <sup>3</sup>Region Hovedstaden, <sup>4</sup>Region Syddanmark

In situ stimuleret reduktiv dechlorering (SRD) af TCE i moræneler og andre lavpermeable aflejringer med preferentiel strømning i højpermeable sandslirer eller sprækker er en stor udfordring. Ved ældre forureninger optræder en stor del af forureningen som følge af spredning ved matrixdiffusion som sorberet fase i lermatrix. Den største udfordring ved SRD i moræneler er at opnå effektiv kontakt mellem forurening, donor og specifikke nedbrydere. På 2 danske lokaliteter (Sortebrovej i Tommerup, og Gl. Kongevej i København V) er i 2006 iværksat fuld-skala SRD af TCE i moræneler ved injektion af donor og kultur med specifikke nedbrydere i hhv. filtersatte borer og som direct push. Efter 4 års afværge er udført undersøgelser med henblik på vurdering af effekten af SRD af TCE i lermatrix.

Undersøgelser på lokaliteterne har omfattet prøvetagning og analyse af vand og kerneprøver, herunder analyser for specifikke nedbrydere og stabile isotoper, såvel som for chlorerede opløsningsmidler, nedbrydningsprodukter, donor fermenteringsprodukter og redoxsensitive parametre kombineret med modellering. Grundvandsmonitoring af udvalgte borer er udført 2-3 gange årligt, og meget detaljeret delprøvetagning (0.25-5 cm skala) af intakte lerkerner for matrixprofil analyse er udført efter 4 år. Transporten, herunder matrixdiffusion og nedbrydning, i sprækker/sandslirer og i bioaktive zoner i leren umiddelbart op til disse er modelleret for at opnå indsigt i betydningen af parametre som sandslirer/sprækkere, injektionsafstand, bredden af bioaktive zoner, densitet/antal af specifikke nedbrydere, donor varighed, etc., for effektivitet af og tidsramme for afværge.

TCE omsættes til nedbrydningsprodukterne (DCE, VC og ethen) i moræneleren, men komplet omsætning af TCE til ethen var (som ventet) ikke opnået indenfor 4 år. Der er observeret stor variation i effekten af SRD i lermatrix mellem lokaliteter, borer og selv mellem kerner. Efter 4 år, varierede massejernelsen indenfor behandlingsområderne på de 2 lokaliteter mellem <5% og 50%. En begrænset effektivitet af SRD i form af massejernelse i dele af matrix er relateret til begrænset udbredelse af nedbrydningen til smalle bioaktive zoner udviklet omkring sprækker og sandslirer, mens TCE i den resterende del af matrix er ubehandlet. I nogle kerner var TCE imidlertid nedbrudt i et omfang, som ikke kan forklares alene ved diffusion til og nedbrydning i smalle bioaktive zoner. Udbredelse af bioaktive zoner med specifikke nedbrydere i matrix spiller en vigtig rolle mht. reduktion af massen af TCE. Disse udbredes tilsyneladende i matrix når både donor og chlorerede stoffer optræder.

En dynamisk udvikling i udbredelsen og aktiviteten af specifikke nedbrydere og dermed af de bioaktive zoner med udviklingen i forholdene må således forventes. Endvidere viser modelleringen, at den vertikale afstand mellem features (sandslirer, naturlige og inducerede sprækker) med tilført donor og kultur samt densiteten (eller aktiviteten) af specifikke nedbrydere er af stor betydning. Analyse af stabile isotoper har afsløret opløsnings- eller desorptionsbegrænsning for nedbrydningen samt forekomst af abiotisk nedbrydning af DCE.

## **PRACTICAL TOOL FOR REMEDIATION DESIGN OF ENHANCED REDUCTIVE DECHLORINATION IN FRACTURED CLAY TILLS: INFLUENCE OF SITE SPECIFIC AND DESIGN PARAMETERS ON REMEDIATION PERFORMANCE**

Ph.d.-student Julie C. Chambon<sup>1</sup>, Niels Døssing Overheu<sup>2</sup>, Aikaterini Tsitonaki<sup>2</sup>,  
Mette M. Broholm<sup>1</sup>, Nina Tuxen<sup>2</sup>, Poul L. Bjerg<sup>1</sup>, Phillip J. Binning<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DTU Miljø; <sup>2</sup>Orbicon  
jccc@env.dtu.dk

Enhanced Reductive Dechlorination (ERD) has been successfully used in high permeability media, such as sandy aquifers, and is considered to be a promising technology for low permeability settings. Pilot and full-scale applications of ERD at several sites in Denmark have shown that the main challenge is to get contact between the injected bacteria and electron donor and the contaminants trapped in the low-permeability matrix. Due to the limited number of ERD applications and the complex transport and reactive processes occurring in low-permeability media, design guidelines are currently not available for ERD in such settings, and remediation performance assessments are limited. The objective of this study is to combine existing knowledge from several sites with numerical modeling in a web-based practical tool for remediation design of ERD in diffusion-dominated media, which can be used by authorities and consultants to assess the feasibility of ERD at a given site.

A numerical model is developed to simulate ERD at a generic contaminated site, where the source zone (chlorinated solvents) is located in a fractured clayey till. The model couples flow and transport in the fracture network and low-permeability matrix, and ERD is modeled with sequential degradation of PCE/TCE to ethene using parameters from laboratory experiments. The influence of site specific parameters (such as matrix porosity, depth of the source zone, initial contaminant concentrations,...) and design parameters (bacteria concentration, injection interval, bioactive zone thickness,...) on remediation performance (mass removal and flux reduction) is assessed by varying the parameters over the range of typical values for such systems.

The practical tool is available in an interactive Excel sheet, where the user can see the influence of the parameter values on the remediation timeframes and compare different sites and different remediation designs. For example the tool can show how remediation timeframes can be reduced significantly by using closely spaced injection intervals (assuming this leads to closely spaced induced fractures) and by ensuring the efficient spreading of the reactants into the clay till matrix. In contrast the bacterial concentration affects mass removal only up to a point where diffusive transport becomes limiting. This Excel sheet is integrated into an interactive pdf document, which provides practical background and perspectives around risk reduction assessment, stop criteria, life cycle assessment to guide remedial choices.

## KAN MIP ANVENDES SOM VÆRKTØJ TIL VURDERING AF IN SITU SRD AFVÆRGE I MORÆNELER?

Ph.d.-studerende Ida Damgaard<sup>1</sup>, Pade<sup>1</sup>, D.M., Tsitonaki<sup>2</sup>, A. Kern-Jespersen<sup>3</sup>, H.,  
Bjerg<sup>1</sup>, P.L. og Broholm<sup>1</sup>, M.M  
<sup>1</sup>DTU Miljø, <sup>2</sup>Orbicon; <sup>3</sup>Region Hovedstaden  
idda@env.dtu.dk

In situ stimuleret reduktiv dechlorering (SRD) er benyttet som afværgemetode på flere morænelerslokaliteter forurenet med chlorerede opløsningsmidler. Effekten af SRD er fulgt ved løbende grundvandsmonitoring samt på enkelte lokaliteter ved diskretiseret delprøvetagning og analyse af lerkerner efter en periode, herunder for en lokalitet på Gl. Kongevej. Resultaterne fra lokaliteterne har vist at monitoring på vandprøver afspejler udviklingen i sandslirer, sandlinser og sprækker, men ikke er repræsentativ for udviklingen i lermatrix. Den diskretiserede delprøvetagning af intakte kerneprøver har vist en udvikling af reaktionszoner i lermatrix, hvilket er afgørende for vurdering af oprensningstiden. Dette er dog en meget omkostningstung metode, særligt hvis der ønskes opnået en vurdering af den horisontale såvel som vertikale variation. Der er derfor brug for andre metoder til at undersøge udviklingen i lermatricen.

På Gl. Kongevej lokaliteten er der udført MIP sonderinger kombineret med felt GC målinger i forbindelse med udvælgelsen af dybdeintervaller for kerneprøvetagning. Dette giver en unik mulighed for at sammenligne relative koncentrationer fra MIP sonderinger kombineret med felt GC målinger med kvantitative resultater fra diskretiseret prøvetagning af kernerne. Præsentationen laves med henblik på at vurdere anvendeligheden af MIP kombineret med felt GC til at undersøge udviklingen af reaktionszoner i lermatrix for derudfra at vurdere oprensningseffekten i lermatrix ved SRD i moræneler.

Projektet er udført på Gl Kongevej ved kombineret felt- og laboratoriearbejde. Der er udført MIP sonderinger (EC, FID og ECD detektorer), hvor der for hver ca 30 cm er udtaget en prøve fra en gassidestrøm fra MIP proben, som er analyseret på en felt GC (analyseret for PCE, TCE, 1,2-cis-DCE, 1,1-DCE, 1,2-trans-DCE og VC). Efterfølgende er der fra udvalgte dybder udtaget intakte kerneprøver til diskretiseret prøvetagning og analyse for chlorerede opløsningsmidler.

Foreløbige resultater viser at man med MIP sonderinger finder den vertikale forureningsfordeling primært af TCE. Ved kombination af MIP og felt GC målinger findes cis-DCE at være dominerende, hvor MIP udslaget er lavt, hvilket indikerer at man ved MIP sondering alene, kan overse forurenede dybder, hvor nedbrydningsprodukter dominerer. Der findes god overensstemmelse mellem sammensætningen af TCE og nedbrydningsprodukter illustreret ved dechloreringsgrad beregnet fra felt GC målinger og koncentrationer i intakte kerneprøver. Dette indikerer at MIP kombineret med felt GC målinger kan benyttes til at understøtte vurderingen af udviklingen af reaktionszoner med anaerob dechlorering i lermatricen. I præsentationen vil der gives anbefalinger i forhold til brug af MIP ved vurdering af SRD i moræneler.





**SAMMENLIGNING AF MIMS OG KULRØRSANALYSER  
UDFØRT PÅ RENSERIGRUND PÅ ÆRØ  
– FEJLFINDING OG TOLKNING – KAN VI BRUGE RESULTATERNE?**

Geolog Britt Boye Thrane  
Rambøll  
brb@ramboll.dk

I forbindelse med de videregående undersøgelser på renserigrunden og de omkringliggende ejendomme var ønsket at anvende en dynamisk metode til udtagning af poreluftprøver. Det var ca. 10 år siden at de indledende undersøgelser var udført så ønsket var hurtigt at få et overblik over om det tidligere konstaterede indhold af chlorerede opløsningsmidler kunne verificeres og om forureningen evt. havde spredt sig/var aftaget i forhold til det tidligere konstaterede. Det blev således besluttet at udføre poreluftmålingerne med Teknologisk Instituts MIMS (Membran Inlet MasseSpektrometri) udstyr.

Formålet med de udførte undersøgelser er at vise:

- om det er muligt at sammenligne resultater fra forskellige metoder
- om det er muligt at gentage og verificere resultater udført til forskellig tid, men i samme punkt
- om MIMS kan bruges til afgrænsning af poreluftforurening

Poreluften blev undersøgt for indhold af PCE, TCE og DCE. For at verificere MIMS målingerne blev der udført 3 poreluftmålinger på kulrør – resultatet af kulrørs målingerne viste overensstemmelse med MIMS målingerne i 2 ud af 3 målinger på PCE indholdet, imens den 3. måling afveg med en faktor ca. 50 hvor de to andre analyser afveg med en faktor 2-6.

Indholdene af TCE og DCE afveg væsentligt på alle 3 kulrørsmålinger i forhold til indholdene fra MIMS målingerne. På baggrund af disse afvigelser blev det besluttet at udføre en omfattende dobbeltbestemmelse/verificering (26 punkter) af MIMS målinger hvor der på samme poreluftspyd er udført en poreluftmåling med kulrør samt en ny MIMS måling. I 6 af punkterne udførte Teknologisk Institut (TI) desuden en kulrørsanalyse på deres egne kulrør dvs. for 6 af punkterne foreligger der trippelbestemmelse på indholdet af PCE udført i samme punkt.

Ved sammenligning af de 26 datasæt er der 2 prøver der skiller sig ud ved at variere meget ved hhv. MIMS- og kulrørsanalyse. De to indhold varierer med hhv. en faktor ca. 70 og faktor ca. 14. Af de øvrige 24 prøver er indholdet i de 17 af prøverne højere ved MIMS end ved kulrørsanalyse, indtil en faktor ca. 4,4. I 7 af de 24 prøver er indholdet af PCE bestemt ved MIMS indtil en faktor 2,3 lavere end ved kulrørsanalysen. Der blev konstateret en høj grad af overensstemmelse mellem kulrørsprøverne udført af TI og analyselaboratoriet.

Gennemgangen af resultaterne tyder på, at de to metoder giver meget sammenlignelige resultater MEN at der forekommer enkelte målinger hvor resultaterne er forskellige – faktor 10 til forskel. Årsagen til disse målinger, der adskiller sig fra de øvrige målinger, vil blive diskuteret. Data viser, at MIMS målinger ikke altid kan anvendes til bestemmelse af TCE og DCE i poreluft.

## **UDTAGNING AF POREVANDPRØVER I UMÆTTET ZONE - VURDERING AF NEDSIVNING TIL GRUNDVANDET**

Civilingeniør, ph.d. Andreas Houlberg Kristensen, ahk@dmr.dk, Per Løll, Dansk Miljørådgivning A/S, Claus Ølund, Ejlskov A/S, Flemming Hauge Andersen, Region Sjælland, Anders Riiber Høj, Oliebranchens Miljøpulje, Per Møldrup, Aalborg Universitet

Forurening med oliestoffer og chlorerede opløsningsmidler i den umættede zone udgør en risiko for nedsivning til grundvandet. En kvantitativ vurdering af risikoen forudsætter et estimat af porevandskoncentrationen umiddelbart under jordforureningen. Som følge af mangel på direkte målemetoder estimeres porevandskoncentrationen typisk ud fra fugacitetsprincippet (f.eks. i JAGG), eller der antages maksimal vandopløselighed af forureningskomponenterne. Disse fremgangsmåder vil i praksis ofte være urealistisk konservative.

Dansk Miljørådgivning A/S har sammen med Ejlskov A/S testet en ny og enkel metode til direkte måling af porevandskoncentrationen i den umættede zone. I samarbejde med Region Sjælland og Oliebranchens Miljøpulje er metoden afprøvet på to lokaliteter forurenede med fyringsolie og én lokalitet forurenede med PCE.

En keramisk sugecelle installeres i den ønskede dybde og forbindes til en vakuumbeholder, hvori der etableres et undertryk. Imellem sugecelle og vakuumbeholder installeres en Sorbi-Cell VOC (Sorbisense), der adsorberer forureningskomponenter i det opsamlede porevand, uden risiko for tab af flygtige komponenter. Efter prøvetagning af et passende prøvevolumen sendes cellen til akkrediteret analyse. Ved udtagning af f.eks. 200 mL porevand opnås en detektionsgrænse for PCE på 1 µg/L, mens detektionsgrænsen for eksempelvis kulbrinte-fraktionen C10-C12 vil være 50 µg/L.

Der er installeret i alt syv sugeceller på de tre testlokaliteter i dybder fra 3,5 til 8 meter under terræn. Sugecellerne er installeret i hhv. mellemkornet sand, sandet moræner/silt og fed moræner. Erfaringerne fra metodeafprøvningen kan opsummeres til følgende:

- Vakuum på mellem 0,5 og 0,8 bar resulterede generelt i udtagning af mellem 50 og 500 mL porevand. Typisk var det nødvendigt, at etablere vakuum mere end én gang før det ønskede prøvevolumen var opsamlet. I en sugecelle installeret i særligt lav-permeabel moræne var det ikke muligt at udtage tilstrækkeligt porevand
- På de tre olieriger er der konstateret porevandskoncentrationer af olieulbrinter på 43-728 µg/L og af BTEX'er på < 0,8-241 µg/L. På PCE-sagen blev der konstateret PCE-indhold på op til 2.630 µg/L samt indhold af nedbrydningsprodukterne TCE og cis/trans-1,2-dichlorethylen
- På den PCE-forurenede lokalitet viste fugacitetsberegninger på baggrund af målte jordkoncentrationer en overestimering på op til en faktor 13 sammenlignet med de målte porevandskoncentrationer.

Metoden vurderes at være lovende til direkte måling af porevandskoncentrationer i umættet zone. Metoden er bedst egnet i fugtige/sandede aflejringer, mens fed moræne kan medføre et større tidsforbrug ved prøvetagningen. Udtagning af porevand fra moræner kan muligvis optimeres f.eks. ved at anvende sugeceller af et andet materiale. Det anbefales at udføre en videre afprøvning og optimering af metoden på lerlokaliteter.

## **SPORGASUNDERSØGELSER - KONTROL AF MEMBRANTÆTHED OG PÅVISNING AF AKTIVE SPREDNINGSVEJE GENNEM KLOAKKER**

Civilingeniør Bjarke N. Hoffmark, bjne@cowi.dk, Tage V. Bote, Lars Nissen, COWI A/S  
Ole Mikkelsen og Jan Petersen, Region Syddanmark

I gennem de seneste år er der fra myndighedernes side kommet større fokus på, at der ved indeklimasikring af bygninger udføres kontrol af, at foranstaltningerne virker efter hensigten (effektkontrol). Ved etablering af membraner i forbindelse med opbygning af betongulve, har der tidligere været afprøvet en række metoder til kontrol af tæthed af membraner. COWI har på en række indeklimasager afprøvet om sporgas kan anvendes til brug for vurderingen. Erfaringer fra indeklimasager har desuden vist, at der kan ske en betydelig forurenings-spredning fra jordmatricen til kloakker. Hvis forureningen tilgår kloakkerne kan den spredes til indeklimaet via afløbsinstallationer. COWI har derfor på en række indeklimasager afprøvet, hvorvidt sporgas kan påvise om kloakker kan udgøre en aktiv spredningsvej.

Udstyret anvendt til at eftervise tætheden af en monteret membran og kortlægning af aktive spredningsveje via kloakker og afløbsinstallationer til indeklimaet, består i sin enkelthed af en sporgas og en detektor. Sporgassen som er sammensat af 5% brint ( $H_2$ ) og 95% nitrogen/kvælstof ( $N_2$ ), er lettere end luft og vil derfor søge opad gennem vertikale spredningsveje. Herved kan der identificeres utætheder i en udlagt membran eller i rørføringer med kontakt til indeklimaet. Detektoren giver et semikvantitativt måleresultat i form af klik-lyde og visuel markering, hvor lamperne grøn, gul og rød tændes afhængigt af den målte koncentration af sporgas. Der er tale om en uspecifik detektor, hvorfor der kan forekomme baggrundsudslag på forskellige kemikalier, f.eks. afdampning fra nyudlagte membraner og fugemasser.

I forbindelse med etablering af et passivt ventilationsdræn under gulvet i en stuelejlighed i Kolding, er der ved gulvopbygningen udlagt en diffusionshæmmende RAC-membran. For at dokumentere en tilstrækkelig tæt montering af membranen, er sporgas introduceret i drænlaget under membranen, hvorpå samlinger, rørgennemføringer og fæstning på fundament er kontrolleret for evt. utætheder. Indledningsvist blev der med sporgassen dokumenteret utætheder som derpå blev udbedret. Efterfølgende er sporgassen igen anvendt til at eftervise udbedringen af utæthederne. COWI har udført arbejdet for Region Syddanmark.

På en sag i Aabenraa, hvor der tidligere har været renseri-aktiviteter, har COWI for Region Syddanmark udført en detaljeret sporgasundersøgelse af et kloakforløb placeret gennem en jordforurening med klorerede opløsningsmidler. Resultaterne viste, at der var risiko for en betydelig spredning af forurening fra jordmatricen ind i kloakken og afløbssystemet og videre til indeklimaet i bygningen.

Ved hjælp af de forholdsvis simple undersøgelser med sporgasmetoden, kan der i felten fås "syn for sagen", hvorvidt en membran er monteret tilstrækkelig tæt, og om der ses aktive spredningsveje fra kloakker til indeklima. Undersøgelserne kan udføres i løbet af ganske kort tid (timer), og er af begrænset økonomisk omfang - til gengæld kan resultaterne have stor betydning for succes af implementeringen af valgte afværgetiltag.



## **DNAPL MASS ESTIMATES: AN UNCERTAIN FUTURE**

Gary Wealthall<sup>1</sup>, Neal Durant (Geosyntec Consultants, Inc.), Torben Højbjerg Jørgensen, Bernt Grosen (COWI A/S) and Mette Broholm (DTU Environment)  
1130 Research Lane, Guelph, Ontario, Canada, N1G 5G3 Phone: +1.519.822.2230 ext. 333  
Mobile: +1.519.400.8033, gwealthall@geosyntec.com

The characterization of dense non-aqueous phase liquid (DNAPL) source zones demands a combination of site specific characterization techniques and uncertainty-based numeric tools. At most sites, however, a complete description of contaminant distribution is seldom achieved and the tools that are required to quantify DNAPL mass are still in development. Here we describe current and emerging methods to derive uncertainty-based estimates of DNAPL mass. Examples from contrasting DNAPL sites are presented and the findings are discussed by reference to current literature and best practice guidance.

Recent advances in the development of a site investigation 'toolbox' has significantly enhanced our ability to characterize the spatial architecture of DNAPL source zones in both sedimentary and fractured bedrock environments. The toolbox approach provides multiple scales of measurement and data quality, and is typically described by two main categories of technologies. The first category provides dense spatial data, often with higher detection limits, and produces qualitative information that is used to guide the sampling strategy. The second category of technologies is typically compound-specific and generates quantitative, precise data that have low detection limits. Where these two categories of measurement technologies are used in tandem, a more complete and accurate dataset is achieved, which can further inform the quantification and uncertainty assessment of DNAPL mass.

Uncertainty in the characterization of DNAPL source zones arises from a number of sources and includes i) the inherent complexity of heterogeneous subsurface environments, ii) limited spatial resolution of site characterization data in three-dimensional space, and iii) the simplifying assumptions that are adopted for the quantification of contaminant mass. Whilst process understanding of the fate of DNAPLs in geological media at the microscopic scale has advanced significantly in the past decade, one of the remaining challenges is the development of a methodology to reduce uncertainty in the estimation of DNAPL mass and, more fundamentally, in the selection of refined conceptual site models early in an investigation program in order to limit the application of unwarranted field methods and minimize the amount of redundant data.

The application of Monte Carlo based simulation methods and other techniques for estimating DNAPL mass will be discussed for a range of geological environments and DNAPL types. Examples of case studies from highly instrumented research sites will be compared to sites where standard site investigation tools have been used to reduce uncertainty in the estimation of DNAPL mass.

## **DNAPL OPRENSNINGSPOTENTIALET AF CHLOREREDE OPLØSNINGSMIDLER VIA GRØN RUST**

Ph.d.-studerende Kristina Kern<sup>1</sup>, Karina Ayala Luis<sup>2</sup>, Mette Broholm<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DTU Miljø; <sup>2</sup>Department of Basic Science and Environment, University of Copenhagen  
krsk@env.dtu.dk

Chlorerede opløsningsmidler kan optræde som DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid), som ikke er blandbar med vand og har en massefylde større end vands. Oprensning af jord- og grundvandsforurening med DNAPL er en stor udfordring, fordi oprensningen er begrænset af opløsning af det chlorerede stof fra DNAPL<sup>1</sup> og kontakt imellem stoffet og det reaktive materiale.

Grøn rust (GR), som repræsenterer en gren af jern(II) jern(III)-lagdelt dobbelt hydroxid mineral familien, har vist sig at være i stand til at nedbryde chlorerede opløsningsmidler ved kemisk reaktion. Nyudviklet GR med indbygget lag af carboxylat anioner, såkaldt organisk grøn rust (organisk-GR) er forventes at være et stærkt reduktionsmiddel som andre GRs. På grund af den hydrofobe karakter af GR, har den en stærk affinitet for hydrofobe stoffer, som chlorerede opløsningsmidler som DNAPL. Derfor forventes det, at organisk-GR har et potentiale for nedbrydning af chlorerede opløsningsmidler som DNAPL og dermed for in-situ oprensning af DNAPL. Formålene med denne undersøgelse er at evaluere:

- Reduktionen og fjernelsen af carbontetrachlorid (CT) fra vandig opløsning.
- Den potentielle reduktion af chlorerede opløsningsmidler som DNAPL med organisk-GR.

I igangværende DNAPL laboratorieforsøg er en blanding af afluftet deioniseret vand og organisk GR overført til batch reaktorer, og CT er sprøjtet ind i reaktorerne i forskellige mængder. Forsøgene med lav koncentration af CT blev udført ved hjælp af store overskud af GR for at studere kinetik af nedbrydningen af CT med tiden. Indledende DNAPL forsøg er udført for at dokumentere de visuelle ændringer i batch reaktorer ved hjælp af digital fotografering. Igangværende forsøg udføres med højere forhold mellem organiske-GR og CT, hvor nedbrydningen følges ved at måle chlorerede opløsningsmidler og den potentielle produktion af deres chlorerede nedbrydningsprodukter (ved GC-MS) og chlorid (ved IC) over tid.

Resultaterne af CT i vandopløselige koncentrationer viser, at organiske-GR effektivt kan reducere CT med reaktionstid som svarer til dem, observeret for nul-valent jern og nanoskala jern og bimetallic partikler. Foreløbige resultater med høje CT koncentrationer bekræfter, at organisk-GR har en høj affinitet i retning af fri fase, der fører til akkumulering omkring og muligvis ind i DNAPL fasen. Yderligere resultater fra de igangværende forsøg er forventes at give et klarere billede af potentialet for reduktion af DNAPL. De nye kemiske egenskaber af organisk-GR og den lave toksicitet af carboxylsyrer gør organisk GR til et lovende nyt reaktivt materiale til brug ved in-situ oprensning af DNAPL.

## **FORURENINGER FRA TRÆIMPRÆGNERINGSVIRKSOMHEDER – FRA MEDIERNES SØGELYS TIL DET DAGLIGE ARBEJDE I REGIONER OG KOMMUNER**

Civilingeniør Helle Larson, Region Midtjylland, helle.larson@ru.rm.dk  
Geolog Kristian Lei Kaltoft, Aarhus Kommune, krk@aarhus.dk

Når vores fagområde en sjælden gang omtales i medierne, er tonen ofte bebrejdende og anklagende. Bedst bliver mediernes historie, hvis det evt. kan antydes, at en myndighed ikke har levet helt op til de høje forventninger, 'befolkningen' synes at have til myndighederne, og/eller at lovene ikke er fulgt til punkt og prikke.

'Collstrop-sagen' er ingen undtagelse. I efteråret 2010 kom der fokus på træimprægneringsfirmaet Collstrops lukkede virksomheder, som alle er forurenede, herunder deres tidligere ejendom i Brabrand hvor produktionen lukkede i 2007. DR-programmet 21-søndag bragte en række indslag om forureningssituationen på ejendommen, og stillede spørgsmål til hvem der skulle betale for oprensning af grundene. Fakta er at ejendomme, hvor der før i tiden har været produktion af trykimprægneret træ, i varierende grad er forurenede. Myndighederne har løbende ført tilsyn med virksomhederne, og der er løbende blevet taget stilling til påbudsmuligheder efter gældende lovgivning.

I dag er situationen den, at ikke alle disse forureninger er omfattet af den offentlige indsats, samt at det ikke har været muligt, at stille de respektive virksomheder til regnskab for alle disse forureninger. Det store mediefokus har medført, at der nu forberedes en ændring af jordforureningsloven, så naturområder bliver omfattet.

For Region Midtjylland og Aarhus Kommune gav indslagene bl.a. anledning til at revurdere risikovurderingen og foretage en række mindre undersøgelser, primært i et rekreativt område der støder op til grunden, men også i begrænset omfang på selve grunden. Undersøgelserne har vist, at der er risiko for kontakt med arsenforurenede jord i det rekreative område, samt at der er forurening med krom(6) i det terrænnære grundvand.

I Region Midtjylland er 25 træimprægneringsanlæg kortlagt på V2, heraf er de 5 Collstrops anlæg. Flere af anlæggene ligger tæt på vandløb og naturområder, men kun 4 ligger inden for OSD eller vandindvindingsområder. Ingen af anlæggene udgør umiddelbart en risiko i forhold til eksisterende vandindvinding. På baggrund af de seneste undersøgelsesresultater forventer Region Midtjylland at gennemføre et udviklingsprojekt, der omhandler kromforurening i det terrænnære grundvand, bl.a. med henblik på vurdering af risiko for påvirkning af nærtliggende vandområder.

I Aarhus Kommune er rutinen ved tilsyn på igangværende virksomheder og virksomheder under afvikling blevet grundigt gennemgået for på den måde at øge fokus på at opdage nye forureninger i forbindelse med de lovpligtige tilsyn. Målet er, at alle forureninger opdages i tide, således at det er forurenere, som kommer til at betale, og således at nutidens syndere ikke bliver til fremtidens 'fortidens syndere'.

## LIDT OM TUNGMETALLER OG JORDBUNDSKEMI

Forstkandidat, ph.d., Julie Katrine Jensen, Rambøll  
jktj@ramboll.dk

På de 250.000 forurenede grunde, det Europæiske Miljøagentur har registreret, er tungmetaller den hyppigst forekomne gruppe forureningskomponenter (EEA, 2007). Nogle af de største og dyreste forureningssager i Danmark skyldes også tungmetaller (Miljøstyrelsen 2011). Ud over den kemiske form, tungmetallerne forekommer på (fx om de forekommer som positive eller negative ioner), er der en række jordbunds faktorer, som har en central betydning, når man taler om risiko forbundet ved tungmetal-forurening. Jordbunds faktorerne styrer i høj grad, om tungmetallerne spredes til grundvand og recipienter, samt om de på andre måder udgør en risiko.

Følgende jordbunds faktorer bør især nævnes i den sammenhæng: Jordens indhold af organisk stof og jern- og aluminiumoxider, jordens pH-værdi, jordens indhold af lermineraler (typer og mængde) og jordens redoxforhold (Alloway 1995; Sauvé et al 2000; Holm et al 2003).

*Lermineralerne* er typisk domineret af en negativ overfladeladning, der kaldes den permanente ladning. Det betyder, at mineralerne binder de tungmetaller, der har en positiv ladning (fx bly, cadmium og kobber).

Visse mineraler (fx *jern- og aluminiumoxiderne*) er derimod domineret af en variabel ladning. Denne skifter med pH-værdien. Når pH-værdien er høj vil den variable ladning være negativ, og mineralerne vil optage tungmetaller med positiv ladning. Når pH-værdien er lav, vil den variable ladning derimod være positiv, og mineralerne vil optage tungmetaller med negativ ladning (fx arsen).

Jordens indhold af *organisk stof* er vigtig for jordens evne til at tilbageholde tungmetaller. Det skyldes dels, at det organiske stof har en stor specifik overflade, dels at det organiske stof indeholder mange overfladenære, aktive grupper, der kan optage ioner. Som det gælder for visse af mineralerne vil den organiske fraktion også antage en negativ ladning ved en høj pH-værdi (og dermed kunne binde positivt ladede tungmetaller), og en positiv ladning ved en lav pH-værdi.

*pH-værdien* er måske den vigtigste faktor, når man snakker om jordbunds faktorer af betydning for tungmetallernes mobilitet i jordmiljøet. At visse mineraler og jordens organiske stof har pH-afhængige ladninger som beskrevet ovenfor betyder nemlig, at der typisk gælder, at tungmetaller der findes som positivt ladede ioner vil være mindst mobile i jord med høj pH-værdi, mens tungmetallerne, der findes som negative ioner, vil være mindst mobile ved lave pH-værdier.

*Redoxforholdene* ændrer sig alt efter om, der er ilt tilstede i jorden. Redoxforholdene har fx stor betydning for arsen, der kan findes på forskellig form alt efter, om der er ilt tilstede eller ej. De forskellige former har både forskellig toxicitet og forskellig mobilitet. Ved reducerede forhold, hvor der ikke er ilt tilstede, vil arsen mest være at finde som arsen (III), der er mere mobilt og mere toksisk end arsen (V), som typisk findes når der er ilt tilstede. Jordbunds faktorerne er centrale, når man ønsker at vurdere risikoen forbundet med en forurening, men de er også centrale, når man ønsker at vurdere mulighederne for oprensning.

Kilder: Alloway, BJ (1995): Soil processes and the behavior of heavy metals. In: Alloway, BJ (ed). Heavy metals in soil. Blackie Academic & Professional. UK. pp. 11-37.

EEA, European Environment Agency (2007): Progress in management of contaminated sites (CSI 015). Assessment Published August 2007.

Holm, PE; Rootzen, H; Borggaard, OK; Moberg, JP; Christensen, T (2003): Correlation of cadmium distribution coefficients to soil characteristics. Journal of Environmental Quality 32, pp 138-145.

Miljøstyrelsen (2011): Redegørelse om jordforurening 2009

Sauvé, S; Hendershot, W; Allen, HE (2000): Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: Dependence on pH, total metal burden, and organic matter. Environmental Science & Technology 34, pp 1125-1130.



## KEMISK STABILISERING AF As, Cr OG Cu FORURENET JORD MED OKKERSLAM FRA VANDVÆRKER

Ph.d.-studerende Sanne Skov Nielsen

DTU Miljø

ssko@env.dtu.dk

Collstropgrundene har været i offentlighedens søgelys og medført et vist fokus på prioriteringen af forurenede grunde. Da tungmetalforurenet jord er dyr og besværlig at rense eller deponere, og da de fleste af grundene ikke umiddelbart udgør en trussel for drikkevandsressourcen, prioriteres de ikke i afværgeprogrammet. Kemisk stabilisering af jorden, så forureningsstofferne tilbageholdes, kan være en midlertidig løsning, der forhindrer spredning af mobile stoffer til grundvand og recipienter. Denne metode har ikke været brugt i større omfang i Danmark, men er en anerkendt remedieringsmetode f.eks. i Storbritannien.

Den kemiske proces, der tilbageholder forureningen i jorden, er sorption på overfladen af jernoxider. Til forsøgsvis stabilisering af arsen og tungmetalforurenet jord har tidligere været anvendt  $\text{Fe(II)SO}_4$  og granuleret metallisk jern, ZVI. Ved oxidation i jorden danner disse sorberende jernoxider, hvilket dog samtidig sænker pH. Formålet med phd-projektet er derfor at undersøge, om okkerslam kan bruges som en alternativ sorbent, da det er et billigt affaldsprodukt og ikke forurenar jorden. Forsøgene er udført på Collstrops tidligere imprægneringsanstalt ved Hillerød, hvor især arsen er et problem, da det udvaskes fra jorden og genfindes i et grøftesystem nogle hundrede meter nedstrøms grunden.

Fra de indledende forsøg ved vi, at tilsætning af okkerslam reducerer arsenkoncentrationen i porevandet med en faktor 1000 i lange perioder. Over en periode på 3 år er målt på et mindre feltforsøg, hvor 1 m<sup>2</sup> jord er behandlet *in situ* med 3% okkerslam. Arsenindholdet i porevandet ser dog ud til at være årstidsafhængig, hvilket formentlig skyldes, at der opstår jernreducerende forhold i jorden om vinteren, mens jorden er vandmættet. Dog er udvaskningen af arsen stadig 10 gange lavere i den behandlede jord om vinteren, hvor frigivelsen er størst.

I sommeren 2011 er der blevet etableret et *in situ* forsøg i stor skala. I modsætning til det tidligere forsøg blev jorden her blandet med fuldskala udstyr ved brug af roterskovl på en større gravemaskine. I det nye forsøg, ser det ligeledes ud til at tilbageholdelsen af arsen er markant. Okkerslammet tilbageholder også kobber, mens koncentrationen af krom i porevandet generelt er meget begrænset, men dog reduceres. Det viste sig i løbet af monitoringsperioden, og ved efterfølgende udtag af jordprøver, at der neders i forsøgsfeltet ikke var tilsat den ønskede mængde okkerslam. Koncentrationen af arsen i porevandet var her næsten på niveau med den ubehandlede jord.

Behandling med okkerslam har en markant reducerende effekt på udvaskningen af arsen, krom og kobber fra jorden. Spørgsmålet er, om kemisk stabilisering har en fremtid i Danmark, da langtidsscenarierne for den stabiliserede jord er vandskelige at forudse.



## **FASTLÆGGELSE AF OPRENSNINGSKRITERIER FOR GRUNDVANDSTRUENDE FORURENINGER**

Civilingeniør Niels Døssing Overheu  
Orbicon A/S  
nido@orbicon.dk

For at kunne vurdere behovet for oprensning af en grundvandstruende forurening, er det nødvendigt at kende sammenhængen mellem koncentrationen i kilden og koncentrationen i et kontrolpunkt i grundvandszonen. Det er i dag ikke en standardøvelse at opstille denne sammenhæng, og herudfra fastlægge oprensningskriterier.

En spørgeskemaundersøgelse har vist, at det bliver gjort på meget forskellige måder, og beslutninger om afværge risikerer at blive truffet på et uensartet grundlag. Især på små og mellemstore sager er der derfor behov for retningslinjer for fastlæggelse af oprensningskriterier, med henblik på at opkvalificere risikovurdering og prioritering af indsatsen. Dette har været fokus i et teknologiudviklingsprojekt afsluttet i 2011 (Overheu et al., 2011).

Formålet med projektet har været at opstille retningslinjer for opstilling af oprensningskriterier på små og mellemstore sager, herunder tilbageregning af overordnede langsigtede oprensningskriterier i grundvandszonen til operationelle kriterier i forureningskilden samt at give anbefalinger til dokumentation.

Ved opstilling af de generelle retningslinjer er der taget udgangspunkt i en række typiske geologiske og hydrogeologiske forhold og typer af forureningssager i Danmark. Metoden er blevet afprøvet på fem forurenede lokaliteter, der bredt repræsenterer den danske geologi og hydrogeologi og forureningstyper. I den forbindelse er der benyttet forskellige risikovurderingsmodeller (JAGG1.5, REMChlor, RISC4, ConSim og DTUV1D) til at belyse tilbageregningen af grundvandskravene tilbage til forureningskilden. Med udgangspunkt i resultaterne fra beregningerne, er der uddraget generelle anbefalinger til opstilling af oprensningskriterier.

Der er opstillet en trinvis metodik til, hvordan af oprensningskriterier på en lokalitet kan opstilles i praksis, herunder: Opstilling af konceptuel model; definition af kontrolpunkter og krav heri; tilbageregning af krav fra kontrolpunkt til kildeområde samt dokumentation.

Resultaterne viser, at der i mange tilfælde kræves meget høje oprensningsgrader (over 99%), hvis man skal kunne overholde grundvandskvalitetskrav i et kontrolpunkt 100 m nedstrøms forureningen. Opstilling af oprensningskriterier udfordrer således den nuværende placering af kontrolpunktet, samtidig medvirker den til en diskussion af, hvordan vi får mest oprensning for pengene, og til hvordan regionerne kan prioritere indsatsen for de mindre og mellemstore forureningssager, der truer grundvandet.

*Referencer:* Overheu, N.D., Tuxen, N., Thomsen, N.I., Binning, P.J., Bjerg, P.L. og Skou, H., 2011. Fastlæggelse af oprensningskriterier for grundvandstruende forureninger. Miljøprojekt nr. 1376, 2011. <http://www.mst.dk/Publikationer/Publikationer/2011/11/978-87-92779-20-5.htm>

## SAMLET STRATEGI FOR IN SITU OPRENSNING AF GRUNDVANDET UNDER GRUBE 1 OG 2 I KÆRGÅRD PLANTAGE

Civilingeniør Torben Højbjerg Jørgensen, tjr@cowi.dk, Lars Nissen, Jarl Dall-Jepsen, Kirsten Rügge, COWI, Lars Bennedsen, Mette Christophersen, Rambøll, Neal Durant, Leah MacKinnon, David Parkinson, Geosyntec Consultants, Prasad Kakarla, ISOTEC, Jørgen Fjeldsø Christensen, Region Syddanmark) Preben Bruun, Miljøstyrelsen

Der er i perioden 2009-2011 udført omfattende undersøgelser i Kærgård Plantage for at identificere og udvælge de mest cost effektive afværgemetoder.

Der er gennemført forsøg med fem in situ-teknologier: 1) Kemisk oxidation med Modificeret Fentons Reagens (MFR), 2) Kemisk oxidation med Aktiveret Persulfat (ASP), 3) Biologisk metode med Stimuleret Reduktiv Deklorering (ERD) 4) Kemisk oxidation med efterpolering med biologisk metode (treatment train), og 5) Termisk oprensning med tilsætning af damp. Nedenstående tabel viser oversigt over hvilke aktiviteter, som er gennemført.

<b>Aktivitet</b>	<b>Kemiske metoder (MFR og ASP)</b>	<b>Biologisk metode (SRD)</b>	<b>Termisk metode med dampstripping</b>	<b>Kombination af kemisk og biologisk metode (MFR/SRD)</b>
Feltundersøgelser	X	X	X	X
Laboratorieforsøg	X	X	X	
Pilotforsøg	X <sup>2)</sup>	X	X <sup>1)</sup>	X
Skitseprojektering	X <sup>2)</sup>	X	X	X

<sup>1)</sup>: Der er ikke udført pilotforsøg, men i stedet udført modellering af dampinjektion, <sup>2)</sup>: Kun MFR

Pilotforsøgene viste, at: 1) Kemisk oxidation med MFR er den eneste metode som kan oprense alle forureningsstoffer. Desuden kan kemisk oxidation også oprense residual fri fase, 2) Den biologiske metode (ERD) kan oprense de klorerede opløsningsmidler herunder også kraftig forurening med residual fri fase, 3) Den biologiske metode kan anvendes i kombination med kemisk oxidation og herved mindske udgifterne til at oprense den sidste rest af klorerede opløsningsmidler, 4) Den termiske metode kan effektivt oprense de flygtige stoffer 5) Selvom der er høje indhold af kviksølv i jorden viser resultaterne af forsøgene at kviksølv ikke mobiliseres ved nogen af metoderne.

Den gennemførte teknologiudvikling viser overordnet, at alle de afprøvede teknologier kan anvendes til oprensning af grube 1 og 2, enten som enkeltmetode eller i kombination med andre metoder. De gennemførte forsøg viser således, at der nu findes teknikker som kan oprense den komplicerede forurening under Kærgård Plantage.

Projektet har omfattet et væsentligt input af Teknologiudvikling, idet flere af de afprøvede metoder er relativt uafprøvede under danske forhold - f.eks. kombination af kemisk oxidation og biologisk metode samt forsøg med oprensning af fri fase forurening med biologisk metode. Projektet har således bidraget med væsentlig ny viden.

## MILJØMÆSSIG OPTIMERING AF IN SITU TERMISK AFVÆRGE VED BRUG AF LIVSCYKLUSVURDERING

Gitte Lemming<sup>1</sup>, Steffen G. Nielsen, Klaus Weber, Gorm Heron, Jacqueline A. Falkenberg,  
Mads Terkelsen, Carsten B. Jensen, Poul L. Bjerg

<sup>1</sup> Postdoc, DTU Miljø, Institut for Vand- og Miljøteknologi, DTU, gile@env.dtu.dk.

In situ termisk afværge har vist sig at være en hurtig og effektiv metode til oprensning af kilde-områder med klorerede opløsningsmidler og andre komplekse forureningstyper, som traditionelt kræver lange behandlingstider eller off-site jordbehandling. Fælles for de termiske oprensningsmetoder er dog, at de kræver et stort energiforbrug til opvarmning af jorden, samt et stort materialeforbrug til installationer af varmeboringer, dampopsamling og isolering ved terræn for minimering af varmetab (vapor cap), luft- og vandrensnings-udstyr mv. Dette betyder, at miljøeffekterne set over projektets livscyklus kan være høje sammenlignet med andre in situ metoder.

Formålet med dette projekt er at opgøre miljøeffekterne relateret til fire forskellige termiske in situ afværgemetoder henholdsvis In Situ Thermal Desorption (ISTD), Steam Enhanced Extraction (SEE), Electro Thermal - Dynamic Stripping Process (ET-DSP) og Radio Frequency Heating (RFH). På baggrund heraf identificeres for hver metode de væsentligste kilder til miljøeffekter, og der gives forslag til en miljømæssig optimering af metoderne gennem substitution af specielt miljøbelastende materialer og muligheder for anvendelse af grønnere energiformer.

Livscyklusvurdering (LCA) er en systematisk metode til at opgøre miljøeffekter relateret til at opnå en given funktion. LCA'en omsætter miljømæssige udvekslinger i form af ressourceforbrug og emissioner under afværgeprojekts livscyklus til en række miljøeffekter bl.a. global opvarmning, forsurening, næringsstofbelastning, partikelforurening samt human- og økotoksiske effekter. Det store antal inkluderede effektkategorier i LCA sikrer en mere holistisk vurdering af virkningerne på miljøet i forhold til blot at fokuseres på en enkelt effekt (eksempelvis global opvarmning). Forud for de udførte livscyklus-vurderinger er der gennemført en grundig dataindsamlingsfase, hvor forbruget af materialer og energi til hver enkelt afværgemetode er kortlagt på et højt detaljeringsniveau. Denne dataindsamling er udført dels for en mindre forurennet grund (ca. 180 m<sup>2</sup>) og dels for en større forurennet grund (ca. 1300 m<sup>2</sup>).

Resultaterne viser, at energiforbruget til opvarmning, betonforbruget til vapour cap samt forbruget af aktivt kul til rensning af forurennet luft er blandt væsentligste kilder til miljøeffekter for de termiske afværgemetoder. Dertil kommer det høje forbrug af stål til installationer, som i høj grad bidrager til toksiske effekter under dets produktion. Transport af materialer, udstyr og personale bidrager derimod ikke væsentligt til miljøeffekterne. Ved hjælp af LCA er potentialet for at reducere miljøeffekterne ved udskiftning af miljøbelastende materialer undersøgt. Dette omfatter bl.a. en undersøgelse af alternative vapor cap konstruktioner, biobaseret aktivt kul og stålinstallationer med lavere indhold af legeringsmaterialer. Endvidere vurderes virkningen af at skifte til diskontinuerlig opvarmning således at elforbrug i kraftværkernes spidslastperioder minimeres og dermed i højere grad finder sted når der er overskud (og dermed højere andel af vindenergi) på elnettet.

De endelige resultater for livscyklusvurderingen af oprensning med ISTD, SEE og ET-DSP samt miljøoptimering af afværgemetoderne præsenteres på vintermødet.



## **RADONSIKRING I EKSISTERENDE BOLIGER**

Ingeniør Jesper Bruun Petersen  
NIRAS A/S  
jpn@niras.dk

NIRAS har, i samarbejde med Statens Byggeforskningsinstitut SBI, udarbejdet en vejledning i radonsikring til radonguiden.dk – myndighedernes nye informationsportal om radon til befolkningen.

I Bygningsreglementet 2010 blev reglerne for radonsikring i byggeriet skærpet, på baggrund af anbefalinger fra Verdenssundhedsorganisationen WHO og de nordiske strålemyndigheder. For eksisterende byggeri indeholder reglementet nu en anbefaling om, at man bør radonsikre sin bolig, såfremt koncentrationen af radon overstiger 100 Bq/m<sup>3</sup>.

Som led i en offentlig informationskampagne mod øget bevidsthed om radonproblematikken, lancerede Energistyrelsen, i samarbejde med Sundhedsstyrelsen og Kræftens Bekæmpelse, d. 16. januar 2012 portalen radonguiden.dk under boligejer.dk. Kampagnen skal informere borgerne og vise hvordan man kan undersøge sin bolig for radon. På baggrund af vejledningen i radonsikring får man ligeledes indblik i hvordan koncentrationen eventuelt kan sænkes.

NIRAS offentliggjorde i september 2011 en radonundersøgelse, der viser, at gængs radonsikring, benyttet siden småhusreglementet i 1998, er utilstrækkelig til at imødekomme bygningsreglementets nye krav. Vejledningen i radonsikring bygger blandt andet disse erfaringer, samt på erfaringer fra projekter i både ind- og udland.

Indtrængning af radon til indeklimaet er identisk med indtrængning af flygtige forureningskomponenter. Løsningsforslagene der fremføres under denne session, kan derfor med fordel overføres til eksisterende boliger, hvor der ønskes sikring mod indtrængende forureningsdampe.

## **REGIONALE UNDERSØGELSER FOR AT UDPEGE POTENTIELLE OMRÅDER TIL SLUTDEPOT FOR DET LAV-MELLEM RADIOAKTIVE AFFALD FRA RISØ**

Chefkonsulent Peter Gravesen

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)

pg@geus.dk

Lav og mellem radioaktivt affald fra Risø: Reaktorbygningen, forskellige typer affald fra forskningen samt affald fra hospitaler, industri, forskningsinstitutioner og universiteter skal opbevares i et endeligt slutdepot for mindst 300 år. Ved de indledende forstudier er der udført en regional kortlægning på basis af eksisterende data i arkiver, databaser og publikationer, som er endt op med at pege på 22 potentielle områder. Inden for disse områder er der peget på 6 områder, hvor der skal foretages flere vurderinger. Disse vurderinger skal danne udgangspunkt for udpegning af 1-3 områder, hvor der skal foretages detaljerede undersøgelser, inden Folketinget udpeger den endelige lokalitet.

Geologiske og hydrogeologiske kriterier er blevet opstillet og har været centrale for kortlægningen. De vigtigste kriterier har været, at aflejringer fra jordoverfladen og ned til så stor dybde som mulig skal være homogene, lavpermeable og have en stor horisontal udbredelse. Det vil sige, at aflejringerne skal kunne omslutte og indkapsle affaldet, hvis det lægges dybere ned i jordlagene eller lige under depotet, hvis det bliver placeret på jordoverfladen.

Kortlægningen er blevet gennemført i en række faser, hvor der også har været fravalg af arealer på grund af andre vigtige anvendelser:

Første skridt var, at identificere hvilke aflejringer og bjergarter, der skulle indgå i det videre arbejde: Tertiært ler, Kvartært ler, grundfjeld og nogen typer kalk.

Næste skridt var at identificere arealer, der skulle udelades: OSD-områder, NATURA2000 områder, de fire største byområder. Disse områder blev ikke videre undersøgt.

De geologiske forhold blev derefter gennemgået og analyseret på de resterende arealer, og på ca. 50 mindre arealer blev foretaget en nærmere vurdering. Ud fra disse arealer blev der udpeget 22 områder, som er potentielt egnede til placering af et slutdepot. Indenfor alle områder var der øverst moræneler. Herefter var der på 17 områder finkornede eller fede palæogene lerarter, på 2 områder fedt ler fra Kvartær, 2 områder var i grundfjeld og 1 område i kalksten.

Ud af de 22 områder er peget på 6 områder til videre vurderinger. De er udskilt ud fra egenskaber ved jordarter/bjergarterne, så som lagtykkelser, glacialtektonik og grundvands/drikkevandsforhold. Der er således peget på områderne: Østermarie-Paradisbakkerne, Rødbyhavn, Kertinge Mark, Hvidbjerg, Thyholm, Thise og Skive.

Den næste fase, som pågår nu, skal føre frem til en reduktion fra 6 til 1-3 områder. Dette sker ved at vurdere alle andre faktorer, som har betydning arealanvendelsen indenfor områderne og sammenholde disse informationer med den geologiske kortlægning.



## **DEPONERING AF RADIOAKTIVT AFFALD I DANMARK – RISIKOVURDERING AF MODELKONCEPTER**

Senior Specialist Lizzi Andersen, COWI A/S

[lisa@cowi.dk](mailto:lisa@cowi.dk)

Anders Refsgaard, Lene Schepper, Hans Gottberg Rømer, Magdalena Utko,

André Küter, Carsten Skov, COWI A/S

Heidi Sjølin Thomsen, Dansk Dekommissionering

Som en del af de forstudier til et dansk slutdepot for radioaktivt affald, Dansk Dekommissionering iværksatte i 2009 har COWI udført indledende design af en række forskellige typer af depoter. Samtidigt er udført en indledende sikkerhedsvurdering af disse typer af depoter baseret på deres placering i en typisk dansk geologi. Studierne er udført i samarbejde med Studsvik AB og Hasløv & Kjærsgaard A/S.

De depotkoncepter, der betragtes, er:

- Et depot tæt på overfladen (over eller under overfladen til en dybde på 30 m)
- Et depot tæt på overfladen (over eller under overfladen til en dybde på 30 m) i kombination med et borehul.
- Et mellemdybt depot placeret 30 til 100 m under overfladen.

Forstudierne omfatter:

- Indledende design af typer af depoter og relaterede affaldsbetingelser.
- Indledende sikkerhedsvurderinger.
- Beskrivelse og estimering af udgifter relateret til de foreslåede løsninger.

De indledende sikkerhedsvurderinger har omfattet vurderinger af sandsynlighed for og konsekvenser af eventuelle ulykkestilfælde relateret til de forskellige perioder i depotets levetid. Hovedaktiviteterne inkluderer opfyldning og drift, mulig udtagning af affald på et senere tidspunkt og den passive periode efter lukning af depotet. Det omfatter tillige en vurdering af den forventelige langtidseffekt på en repræsentativ person ved udsættelse for bestråling fra depotet over tid.

Der er i den indledende sikkerhedsvurdering beregnet konsekvenser som følge af udslip frem til 10.000 år efter første opfyldning af depotet samt den følgende spredning af disse udslip i op til 1 mio. år. På grundlag heraf er der udført supplerende estimer af den evt. senere påvirkning ud fra en vurdering af nuklider, der til den tid stadig indeholder aktivitet, der er større end de kriterier, IAEA og EU har fastsat for, hvornår affaldet ikke længere betragtes som radioaktivt. Udover påvirkning som følge af den langsigtede udsivning til grundvand m.m. også udslip på gasform fra depotet vurderet.

Nærværende præsentation vil primært beskrive de indledende sikkerhedsvurderinger af den langsigtede effekt.



## HELHEDSORIENTERET MILJØVURDERING AF VANDRESSOURCER I ET VANDRAMMEPERSPEKTIV

Professor Poul L. Bjerg  
DTU Miljø  
plbj@env.dtu.dk

Pesticider er hyppigt omtalt i medierne i relation til grundvand og drikkevand, da området har stor politisk bevågenhed. Hvem er synderne og hvilke indgreb vil hjælpe? Pesticider er dog blot en delmængde af de mange forureningsstoffer i vandets kredsløb. Der er andre væsentlige forureningskilder, som bidrager til forurening af vandressourcen fx forurenede grunde, næringssalte fra landbruget, miljøfremmede stoffer i spildevand og regnvandsbetingede udledninger. Der er forskellige indgrebsmuligheder i forhold til forskellige forureningstyper. Indgrebene bør samfundsmæssigt afvejes i forhold nyttevirkningen og omkostningerne. Hvordan gøres det, og hvem vurderer dette?

Med EU's Vandrammedirektiv er der kommet stor fokus på sammenhængen mellem overfladevand og grundvand, som bl.a. er behandlet i Vandplanerne i Danmark. Hvis vandløbene skal opfylde målsætningerne i Vandrammedirektivet, er den samlede indvinding af grundvand ikke bæredygtig i visse områder. Vandplanerne har haft en stærk fokus på kvantiteten og næringssalte. Reelt har hidtil der ikke været meget fokus på den kemiske og økologiske kvalitet.

Samlet set betyder det, at vi står over for store udfordringer. Spørgsmålet er, om vi i dagens forvaltning af vandressourcen i Danmark kan håndtere disse udfordringer? Vil den opsplittede administrative forvaltning blokere for helhedsorienterede løsninger. Er der den tilstrækkelige faglige viden, og er der fokus på de rette spørgsmål?

Disse spørgsmål vil blive debatteret i indlægget baseret på to udvalgte eksempler.

Det første eksempel ser på håndteringen af mange forskellige forureningskilder i et opland. Hvem har overblikket? Hvem har data? Hvordan sammenlignes effekten af forskellige typer af forureninger? Hvordan opgøres nyttevirkningen, hvis vi ikke kender effekterne? Hvordan sammenlignes omkostninger og bæredygtighed af forskellige løsninger?

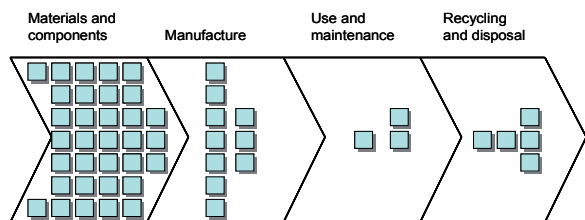
Det andet eksempel omhandler fund af nye og gamle pesticider i lyset af pesticiders anvendelse, transport og skæbne i vandmiljøet i et Vandramme perspektiv. Giver pesticider anledning til nye fund, og hvilke fund kan tilskrives fortidens synder? Er der en sammenhæng mellem fund i vandløb og grundvand? Hvilke pesticider er de mest problematiske? Fungerer vores godkendelsesprocedurer for pesticider i et vandrammeperspektiv?

## HELHEDSORIENTERET MILJØVURDERING AF TEKNOLOGIER I ET LIVSCYKLUSPERSPEKTIV

Professor Michael Z. Hauschild  
Quantitative Sustainability Assessment  
DTU Management Engineering  
mzha@dtu.dk

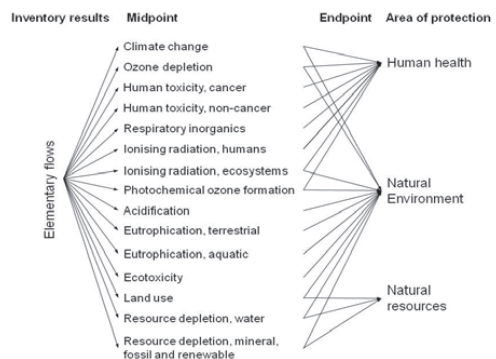
Vores påvirkning af miljøet og naturgrundlaget har været voksende i mange år, og symptomerne på overbelastning viser sig mange steder, f.eks. i form af klimaændringer, tab af arter, udtømmning af ikke-fornybare ressourcer og udpining af de fornybare. Årsagen er vores støt voksende produktion og forbrug, og fremskrivninger af økonomisk vækst og vækst i befolkningstallet understreger, at denne form for udvikling er ikke realistisk i længden. For at understøtte en miljømæssigt holdbar udvikling har vi brug for mere bæredygtige teknologier og når vi skal vurdere hvilke teknologies løsninger på vore problemer, der er mest miljømæssigt bæredygtige har vi brug for vurderingsværktøjer, der kan hjælpe os med at sætte tal på bæredygtigheden på et videnskabeligt velfunderet grundlag og understøtte, at diskussionen af bæredygtighed løftes fra det intuitive og forudindtagne til at baseres på facts.

Når vi vurderer den miljømæssige bæredygtighed af produkter og teknologier, er vi nødt til at anlægge et livscyklusperspektiv på dem. Ellers risikerer vi at overse væsentlige kilder til miljøbelastning, der ikke nødvendigvis ligger i brugen af teknologien men måske i produktionen af hardware, i udvindingen af nogle af de råstoffer, der må udvindes for at gøre den mulig eller måske i dens bortskaffelse når den ikke længere kan bruges. Vi risikerer også, at skabe utilsigtede forværringer andre steder, når vi miljøforbedrer en teknologi, hvis vi ikke tager hele livscyklus med i vurderingen.



Livscyklus af en teknologi fra vugge til grav

På samme vis er vi nødt til at medtage alle de relevante miljøbelastninger som teknologien kan bidrage til hen igennem sit livsforløb. Det er ikke altid nok at se på teknologiens carbon footprint eller drivhuseffektbidrag. Det kan sagtens være andre miljøpåvirkninger, der er de mest alvorlige. Livscyklusvurdering opfylder begge disse krav om helhedsorientering – både i livscyklus og på tværs af miljøpåvirkninger, og er i dag meget anvendt til vurdering af miljømæssig bæredygtighed. En præsentation gives af de seneste udviklinger af betydning for livscyklusvurdering som helhedsorienteret miljøvurdering af teknologier.



Livscyklusvurdering dækker en bred vifte af miljøpåvirkninger

















